

SERIE Contribuciones Técnicas
RECURSOS MINERALES

DISPONIBILIDAD DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS MINERALES PARA EL AGRO ARGENTINO



CARLOS J. HERRMANN
MARTÍN R. GOZALVEZ



**INSTITUTO DE GEOLOGÍA
Y RECURSOS MINERALES**

SEGEMAR

Boletín 353
Buenos Aires, 2005

SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN
SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO
INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Serie Contribuciones Técnicas

RECURSOS MINERALES

Boletín N° 353

**DISPONIBILIDAD DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS
MINERALES PARA EL AGRO ARGENTINO**

CARLOS J. HERRMANN

Dirección de Recursos Geológico-Mineros
IGRM-SEGEMAR

MARTÍN R. GOZALVEZ

Dirección de Recursos Geológico-Mineros
IGRM-SEGEMAR - CONICET

AUTORIDADES

SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

Presidente Ing. Jorge O. Mayoral
Secretario Ejecutivo Lic. Pedro F. Alcántara

INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Director Lic. Roberto F. N. Page

DIRECCIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICO - MINEROS

Director Dr. Eduardo O. Zappettini

SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Av. Julio A. Roca 651 - 10º piso
1322 Buenos Aires
República Argentina

La presente publicación ha sido realizada en el marco del Proyecto Tipificación de Minerales no metalíferos, suscripto por la Dirección Nacional de Minería y la Fundación Empremin.

Referencia bibliográfica

Herrmann, C. J. y M. R. Gozalvez, 2005. Disponibilidad de fertilizantes y enmiendas minerales para el agro argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 353, p 59. Buenos Aires.

ISSN 0328-9052

Es propiedad del Instituto de Geología y Recursos Minerales - SEGEMAR
Prohibida su reproducción

Indice

	Pág.
Introducción	1
Capítulo I: Fertilizantes minerales. Definiciones, usos y necesidades	
1.1. Fertilizantes y enmiendas minerales	3
1.2. Las necesidades de los suelos argentinos	3
1.3. Utilización de los Fertilizantes Minerales	4
1.4. Los recursos minerales para el agro	4
Capítulo II: Azufre	
2.1. Minerales que proveen azufre: Yeso	5
2.2. Necesidad de aplicación de azufre en los suelos cultivables	5
2.3. Aplicación de yeso en la agricultura	5
2.3.1. Caracterización del yeso agrícola	6
2.4. Recursos de yeso en la Argentina	6
2.4.1. Cuenca Neuquina	6
2.4.2. Oeste y centro-oeste argentino	7
2.4.3. Buenos Aires - La Pampa	7
2.4.4. Suroeste de Mesopotamia	8
<i>Ficha N° 1: Depósitos de yeso de la cuenca neuquina</i>	
<i>Ficha N° 2: Depósitos de yeso del oeste y centro-oeste argentino</i>	
<i>Ficha N° 3: Depósitos de yeso de la región de Buenos Aires - La Pampa</i>	
<i>Ficha N° 4: Depósitos de yeso de Mesopotamia</i>	
2.5. Mapa: Recursos de yeso para las necesidades de azufre	15
Capítulo III: Calcio y magnesio	
3.1. Minerales y rocas que proveen calcio y magnesio: Calizas y dolomías	17
3.2. La degradación de los suelos cultivables por acidificación	17
3.3. Aplicación de Calcio y Magnesio en la agricultura. Corrección de la acidez edáfica.	17
3.4. Recursos de Calcio y Magnesio en la Argentina	19
3.4.1. Región Central	19
3.4.2. Buenos Aires	20
3.4.3. Precordillera	21
3.4.4. Cuenca Neuquina	21
3.4.5. Entre Ríos	22
3.4.6. Patagonia	22
<i>Ficha N° 5: Depósitos de rocas carbonáticas cálcicas de la Región Central</i>	
<i>Ficha N° 6: Depósitos de rocas carbonáticas magnesianas de la Región Central</i>	
<i>Ficha N° 7: Depósitos de rocas carbonáticas cálcicas de Buenos Aires</i>	
<i>Ficha N° 8: Depósitos de rocas carbonáticas magnesianas de Buenos Aires</i>	
<i>Ficha N° 9: Depósitos de rocas carbonáticas cálcicas de Precordillera</i>	
<i>Ficha N° 10: Depósitos de rocas carbonáticas magnesianas de Precordillera</i>	
<i>Ficha N° 11: Depósitos de rocas carbonáticas cálcicas de Cuenca Neuquina</i>	
<i>Ficha N° 12: Depósitos de rocas carbonáticas de Patagonia</i>	
3.5. Mapa: Recursos de calizas y dolomías para las necesidades de Ca y Mg	33
Capítulo IV: Potasio	
4.1. Minerales que proveen potasio: Cloruro de potasio.	35
4.2. Necesidad de aplicación de Potasio en los suelos cultivables	35
4.3. Recursos de potasio en la Argentina.	35
4.3.1. Los depósitos de la Cuenca Neuquina	36
4.3.1.1. Yacimiento Potasio Río Colorado	36
4.3.1.2. Área El Portón	37
4.3.1.3. Área Pampa de Las Liebres	38
4.3.1.4. Área Sierra Negra	38
4.3.1.5. Área Paso Barda	38

	Pág.
4.3.1.6. Área Los Barreales	38
Ficha N° 13: Depósitos de cloruro de potasio en la cuenca neuquina	
4.4. Mapa: Recursos de silvita (CLK) para la producción de fertilizantes	40
Capítulo V: Fósforo	
5.1. Minerales que proveen fósforo. Rocas fosfáticas	41
5.2. Necesidad de aplicación de fósforo en los suelos cultivables	41
5.3. Recursos de Fósforo en la Argentina	41
5.3.1. Cuenca neuquina (provincia del Neuquén)	42
5.3.2. Provincia de Chubut	42
5.3.3. Provincia de Santa Cruz	43
5.3.4. Provincias de Salta y Jujuy	43
5.3.5. Otras manifestaciones fosfáticas en la Argentina	43
5.3.6. El depósito ferrífero de Sierra Grande, Río Negro	43
5.4. Mapa: Recursos de fosfatos para las necesidades de fósforo	44
Capítulo VI: Nitrógeno	45
Capítulo VII: Micronutrientes	
7.1. Boro	
7.1.1. Minerales que proveen boro: Boratos.	46
7.1.2. Necesidad de aplicación de boro en los suelos cultivables	46
7.1.3. Recursos de Boro en la Argentina. La región de Puna.	47
7.2. Otros micronutrientes	48
Cobre	48
Hierro	48
Manganeso	48
Molibdeno	48
Zinc	48
7.3. Mapa: Recursos de boratos para las necesidades de boro	50
Capítulo VIII: Sustancias minerales para sustratos	
8.1. Ceolitas	
8.1.1. El grupo mineral ceolitas	51
8.1.2. Aplicación de ceolitas en agricultura	51
8.1.3. Recursos de ceolitas en la Argentina	51
8.1.3.1. Región de Paganzo	51
8.2. Perlita	
8.2.1. Perlita: vidrio natural hidratado.	52
8.2.2. Aplicación de Perlita en agricultura	52
8.2.3. Recursos de perlita en la Argentina	52
8.2.3.1. La región de Puna	52
8.3. Vermiculita	
8.3.1. El mineral vermiculita	54
8.3.2. Aplicación de vermiculita en la agricultura	54
8.3.3. Recursos de vermiculita en la Argentina	54
8.3.3.1. Precordillera	54
8.3.3.2. Sierras Pampeanas	54
8.4. Mapa: Recursos de perlita, ceolitas y vermiculita para sustratos y enmiendas	56
Bibliografía citada en el texto	57

INTRODUCCIÓN

Las deficiencias minerales de los suelos de cultivo en la Argentina comenzaron a hacerse notorias debido al uso de sistemas agrícolas intensivos y pueden comprometer en gran medida los logros obtenidos en productividad y volumen. Por otra parte, investigaciones de orden mundial afirman que la disminución de nutrientes en los suelos trae aparejada una baja en el contenido mineral de los cultivos, con consecuencias en la alimentación humana. "Disponibilidad de Fertilizantes y Enmiendas Minerales para el Agro argentino" es una obra que tiene como objetivo ofrecer información geológico-minera ordenada sobre los minerales de uso agrícola (nutrientes, enmiendas y correctores) destinada principalmente a este sector específico y relevante de la actividad económica nacional.

El trabajo enmarca los yacimientos en su ámbito geológico, los caracteriza en su contexto minero y destaca las ventajas y restricciones para su potencial uso agrícola. Resalta además criterios y características geográficas basados en la distribución de áreas cultivables con necesidades de nutrientes y enmiendas con respecto a la ubicación de los yacimientos potencialmente aptos para atenderlas.

Considera los minerales y rocas capaces de proveer nutrientes esenciales como azufre, calcio, magnesio, potasio y fósforo, micronutrientes como boro y elementos metálicos, mejoradores de sustratos (perlita, vermiculita y ceolitas) y correctores de acidez edáfica.

Los mapas, contextualmente simples, exponen la distribución de los recursos minerales del terri-

torio nacional capaces de proveer la nutrición requerida por los suelos cultivables en las distintas regiones de las principales zonas de cultivo de la Argentina, en combinación con la distribución de las áreas con mayor o menor susceptibilidad al empobrecimiento de nutrientes evaluadas por el Instituto de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

El texto, en cambio, hace hincapié en el conocimiento del recurso, los aspectos de calidad, particularidades y necesidades del uso agrícola, distribución de los yacimientos en las distintas regiones, producción, características de los principales depósitos y sus ambientes geológicos de formación en el territorio argentino.

El trabajo analiza la disponibilidad de recursos minerales para las necesidades de la principal región de cultivo de la Argentina. Las necesidades de otras regiones del país, con cultivos particulares según sus condiciones de clima y suelo, serán consideradas en futuros trabajos.

Próximos pasos deben sin duda apuntar a la tipificación de los yacimientos minerales que cumplan condiciones para constituirse en proveedores del agro, en su aptitud de provisión de un material que logre los mayores y mejores efectos nutrientes y correctivos en los cultivos y suelos, sin el agregado de elementos nocivos.

Los autores agradecen especialmente al Ingeniero Agrónomo M.Sc. Gustavo Cruzate del Instituto de Suelos del INTA y al geólogo Dr. Edgardo Menoyo, de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas, la lectura del trabajo y los valiosos aportes realizados.

CAPÍTULO I

FERTILIZANTES MINERALES. DEFINICIONES, USOS Y NECESIDADES

1.1. FERTILIZANTES Y ENMIENDAS MINERALES

Fertilizante es una sustancia que se añade al suelo o al cultivo para estimular su crecimiento, mejorar su calidad y aumentar la productividad (Pecora, 1968). Pueden ser tanto abonos como enmiendas. Los abonos, minerales u orgánicos, se aplican al suelo o a los cultivos para enriquecerlos en elementos químicos activos nutriéndolos, mientras que las enmiendas mejoran o corrigen las propiedades físicas o físico-químicas del suelo. Los abonos minerales son compuestos nitrogenados, fosfatados o potásicos, con proporción menor de elementos como calcio, magnesio, azufre y boro, entre otros.

Las formulaciones combinadas de NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) surgieron por las necesidades de la agricultura intensiva; para su elaboración se utilizan materias primas naturales, aunque no todas minerales, como el caso del N a partir del aire.

Los elementos esenciales que aportan los suelos para el crecimiento de las plantas se clasifican en primarios (nitrógeno, fósforo y potasio), secundarios (calcio, magnesio, azufre) y micronutrientes (boro, hierro, manganeso, cobre, cinc, molibdeno, cloro). Numerosos ensayos e investigaciones a cargo de organismos especializados (INTA y Facultades de Agronomía, entre otros) se ocupan de cuantificar la efectividad agronómica de la aplicación directa de rocas y minerales al suelo, procedimiento que no es posible implementar en todos los casos.

Las enmiendas o correctores tienen como objeto corregir inaptitudes físicas o químicas de los suelos, sin que necesariamente contengan sustancias fertilizantes. La principal enmienda es aquella que corrige las deficiencias en el grado de acidez de los suelos, para lo cual se utiliza cal o rocas carbonáticas cálcicas ("calcáreo agrícola").

Otras sustancias minerales, denominadas corrientemente sustratos, como perlita, vermiculita y ceolitas, son utilizadas para mejorar o acondicionar físicamente los suelos.

Bonalumi (com. verb.) propone utilizar el término "minerales agroutilizables" para aquellos minerales que contienen elementos químicos que actúan como macronutrientes (C, N, H, O, S, P, K, Ca, Mg, Na y Si) o micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl), y el término "agrominería" para la actividad minera relacionada con la exploración y extracción de minerales agroutilizables.

El Comité de Sanidad Vegetal del Cono Sur - COSAVE - definió, en agosto de 2000, los siguientes términos:

Fertilizante: se denomina fertilizante a toda sustancia o mezcla de sustancias que incorporada al suelo o aplicada sobre la parte aérea de las plantas, suministre el o los elementos que requieren los vegetales para su nutrición con el propósito de estimular su crecimiento, aumentar su productividad y mejorar la calidad de las cosechas.

Enmienda: se considera enmienda a toda sustancia o mezcla de sustancias de carácter mineral u orgánico, que incorporada al suelo modifique favorablemente sus caracteres físicos o físico-químicos, sin tener en cuenta su valor como fertilizante, por ej.: yeso, cal, azufre, dolomita, turba y toda otra sustancia o mezcla que el organismo competente considere apropiado incluir en esta denominación.

Producto Fitosanitario: cualquier sustancia, agente biológico, mezcla de sustancias o de agentes biológicos destinada a prevenir, controlar o destruir cualquier organismo nocivo, incluyendo las especies no deseadas de plantas, animales o microorganismos que causan perjuicio o interferencia negativa en la producción, elaboración o almacenamiento de vegetales y sus productos. El término incluye coadyuvantes, fitorreguladores, desecantes y las sustancias aplicadas a los vegetales pre y post-cosecha para protegerlos contra el deterioro durante el almacenamiento y transporte.

1.2. LAS NECESIDADES DE LOS SUELOS ARGENTINOS

Las necesidades de nutrientes en la agricultura argentina son evaluadas por distintas unidades del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). En particular, Cruzate y Casas (2003) determinaron la distribución geográfica de la susceptibilidad al empobrecimiento de P, Ca, K, S y B en la principal región productora de soja, trigo, maíz, girasol y sorgo de nuestro país, basándose en una evaluación areal de la exportación de nutrientes de los principales cultivos, el balance con la reposición por fertilización y la susceptibilidad al empobrecimiento de nutrientes en los suelos. La metodología utilizada para dichos cálculos se explica en Cruzate y Casas (2003).

De allí se desprende que sólo en un ciclo agrícola se extrae del suelo de la superficie cultivada argentina 737.000 t de K; 320.000 t de P; 114.000 t de Ca; 200.000 t de S y 600 t de B (ver detalle en Tabla 1,

CULTIVO	FÓSFORO	CALCIO	POTASIO	AZUFRE	BORO
Girasol	15.578	5.471	26.976	7.979	137
Maíz	45.747	3.089	60.309	26.624	88
Soja	191.790	96.196	586.193	141.288	241
Trigo	58.899	6.425	53.851	17.440	122
Sorgo	7.979	2.539	9.877	5.971	8
Totales	319.993	113.720	737.205	199.302	596

Tabla 1. Extracción de nutrientes en el ciclo agrícola 2001/2002. Cifras expresadas en toneladas. Datos y tabla de Cruzate y Casas (2003); fuente: INTA y SAGPyA (Estad. Agropecuarias).

extraída de Cruzate y Casas, 2003).

Este déficit generado en los suelos por la propia actividad agrícola puede ser cubierto en una importante proporción por los recursos minerales de sales de potasio, rocas fosfáticas, calizas, dolomías, calcáreos en general, yeso y boratos distribuidos en el territorio argentino.

1.3. UTILIZACIÓN DE LOS FERTILIZANTES MINERALES

De acuerdo con Scasso et al (2004) la forma de utilizar los abonos y enmiendas depende del cultivo considerado y de las condiciones particulares de cada suelo. Para el caso de los suelos donde se implantan los cultivos se recomienda efectuar análisis químicos periódicos con el fin de determinar con exactitud las combinaciones y dosificaciones de los fertilizantes que convendrá utilizar en cada caso, luego de lo cual es posible proceder a distribuir los abonos y las enmiendas. Corrientemente se realiza una fertilización al sembrar, denominada fertilización de fondo, consistente en enterrar fertilizante a una profundidad de unos 10 cm y a poca distancia de la semilla o planta, de tal forma que el cultivo disponga de los nutrientes al desarrollar su raíz. Esta operación se complementa con una distribución posterior del fertilizante, denominada fertilización en cobertura, que se efectúa al voleo o mediante pulverizaciones directas sobre el follaje.

En cualquier operación debe considerarse la solubilidad diferencial de los distintos elementos nutrientes empleados. Por ejemplo el nitrógeno en medio húmedo se solubiliza en forma casi inmediata (24 a 72 hs.), mientras que el fósforo -que es menos soluble- necesita entre 30 y 40 días para ser asimilado por los cultivos, dependiendo de la variedad considerada.

Con respecto a la comercialización de los fertilizantes, en el marbete de cada bolsa o bidón se deben indicar los porcentajes de cada elemento o sustancia, expresados como Nitrógeno (N), Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O), Magnesio (MgO), Calcio (CaO) y elementos menores. Debe indicarse el grado, que representa el contenido mínimo de los elementos nutrientes indicados en porcentaje. Por ejemplo, una relación N:P:K de

4:8:4,5 representa un abono de grado 16,5 (la suma de los elementos), con 4% N, 8% P_2O_5 y 4,5% K_2O solubles en agua. Similar tratamiento debe darse a los elementos secundarios que porte el compuesto.

Para la determinación del costo de un fertilizante dado se debe considerar el valor unitario de cada elemento (grado), considerándose por lo general la unidad de nitrógeno como la más costosa, seguida por la del fósforo y por último la de potasio.

Otros aspectos de importancia son la homogeneidad de la mezcla o compuesto fertilizante mineral, su estado físico (polvo, granulado o líquido) y un envase que en el caso de los fertilizantes en estado sólido garantice su estanqueidad, considerando que muchas sales son fuertemente higroscópicas, particularmente la urea. Es por ello que en la cadena de comercialización de estos productos es fundamental su almacenamiento en ambientes de baja humedad hasta el momento de incorporarlos al suelo o a los cultivos.

1.4. LOS RECURSOS MINERALES PARA EL AGRO

Se denomina yacimiento mineral a la acumulación de un mineral o roca, que resulta de interés económico. Su distribución en la naturaleza no es azarosa, sino que responde a procesos geológicos de formación propios de cada ambiente.

En los capítulos que siguen se tratan con detalle los principales minerales y rocas utilizados como fuentes naturales de nutrientes y enmiendas para el agro, las principales características geológicas de sus yacimientos y su distribución en el territorio nacional. En los mapas de final de cada capítulo se expone la distribución del recurso mineral, la identificación y ubicación de los yacimientos de mayor importancia y las áreas con características geológicas favorables para su ocurrencia, denominadas fajas litogenéticas, definidas en "Minerales Industriales de la República Argentina" (Gozalvez et al, 2004). En estos mapas se vuelca además la zonificación de las susceptibilidades al empobrecimiento nutricional de las distintas regiones de cultivo del territorio nacional elaboradas por el INTA (Cruzate y Casas, 2003), resultando un análisis combinado de necesidades versus disponibilidad de recurso mineral.

CAPÍTULO II

AZUFRE

2.1. MINERALES QUE PROVEEN AZUFRE: YESO

Una de las principales fuentes de azufre para uso como nutriente agropecuario es el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). El yeso es un mineral corriente, presenta exfoliación en tres direcciones, su dureza es 2 en la escala de Mohs y generalmente tiene brillo vítreo, también perlado o sedoso. Sus cristales son incoloros, blancos o grises, y por la presencia de impurezas adquiere diversas tonalidades. Su solubilidad en ácido y la presencia de gran cantidad de agua lo distinguen de la anhidrita (producto de su deshidratación).

El yeso ocurre con frecuencia intercalado en calizas y lutitas y generalmente aparece en capas bajo los depósitos de sal por haber sido depositado como uno de los primeros minerales que cristalizaron por la evaporación de aguas salinas. Los yacimientos de yeso pueden tener origen marino o lacustre y en base a ello se definen dos modelos de depósitos minerales que describen y caracterizan las acumulaciones de este mineral: las *evaporitas marinas* y las *evaporitas lacustres*. Los depósitos del primer tipo se generaron en cuencas marinas marginales cuya fuente de sulfato de calcio es el agua de mar; son de gran extensión areal y de un considerable espesor, con una media de tonelaje y ley de 280 Mt y 90,7% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (para el promedio de los principales yacimientos del mundo). Los depósitos lacustres son más pequeños, aunque pueden alcanzar hasta 30 metros de espesor con tonelajes y leyes medias de 14 Mt y 85% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

2.2. NECESIDAD DE APLICACIÓN DE AZUFRE EN LOS SUELOS CULTIVABLES

De acuerdo con las investigaciones del INTA (Cruzate y Casas, 2003) en toda la región pampeana se observaron respuestas significativas de los cultivos al agregado de azufre en el suelo; la mayor susceptibilidad se observa en el norte y en el oeste de la provincia de Córdoba, este de la de San Luis y norte de Santiago del Estero. La región del norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe presenta niveles de susceptibilidad medianamente altos. Los sitios de mayor susceptibilidad a la pérdida de azufre se caracterizan por poseer bajo contenido de materia orgánica (en

muchos casos producida por el intenso uso agrícola y/o alto contenido de arena.

Los principales cultivos requieren entre 3,9 y 6,7 kg de azufre (S) por tonelada de grano (ver tabla 2). En el ciclo agrícola 2001/2002 se cosecharon 66.658.675 t de estos granos, y como consecuencia de ello también se extrajeron 199.302 t de S.

Este déficit puede ser cubierto con la aplicación directa de yeso, en granulometrías adecuadas, proveniente de los yacimientos de las distintas regiones del país, expuestos en el ítem 2.4 de este trabajo.

2.3. APLICACIÓN DE YESO EN LA AGRICULTURA

El yeso posee 79.07 % en peso de SO_4Ca y 20.93% de H_2O (agua de combinación). El contenido de calcio es de 23.28% y el de azufre es de 18.62% como sulfato disponible. El yeso posee muy bajo costo por unidad de nutriente y es ambientalmente seguro, ya que no contamina las napas freáticas ni produce toxicidad por exceso de dosificación.

De acuerdo con la experiencia del equipo FERTILIZAR (INTA Pergamino), un factor de importancia para la aplicación de yeso en la agricultura es el tamaño de partícula y en función de éste el tiempo de disolución del producto. Las partículas pequeñas (0.089 mm; malla 170 ASTM) entran en solución inmediatamente en soluciones acuosas, por tal razón es utilizado en riego por goteo y/o aspersión, mientras que las de mayor tamaño (0.178 mm; malla 80 ASTM) se disuelven lentamente produciendo un espectro de liberación prolongada, durante aproximadamente el primer año de aplicado.

El mercado local debe propender a la elaboración de productos de granulometría uniforme, apto para la mezcla física con otros fertilizantes ("pelleteado"). Químicamente debe requerirse un mínimo de sulfato de calcio dihidratado del 85 %, libre de metales pesados (dentro de los niveles guías de la ley de Residuos Peligrosos). La falta de uniformidad química y granulométrica del producto comercial en el mercado local atenta contra su utilización en gran escala. Actualmente han comenzado reuniones técnicas para la creación de una norma IRAM específica para la aplicación del producto en agricultura.

	SOJA	TRIGO	MAIZ	GIRASOL	SORGO
Requerimiento de S (kg/t)	6,71	4,55	4,02	5,53	3,90

Tabla 2. Requerimiento nutricional de azufre en los cultivos por tonelada de grano producido. Fuente: INTA. Promedio de varias publicaciones. Extraído de Cruzate y Casas (2003).

2.3.1. CARACTERIZACIÓN DEL YESO AGRÍCOLA

- Aptitud química del yeso agrícola

CaSO ₄ · 2 H ₂ O	> 85 %
Agua libre	< 0.05 %
NaCl	< 0.05 %
CaCO ₃	< 13 %
MgCO ₃	< 0.3 %
Oxidos de Fe y Al	< 0.3 %
Otros elementos	2 - 3 %
Humedad	< 0.1 %
S	16 a 18 %
Ca	aprox. 23 %

- Aptitud Física del yeso agrícola

Granulometría seca (polvos y granulados):

- > 99.99 % pasa malla 80 ASTM
- > 99.99 % pasa malla 170 ASTM
- > 90 % entre 2-4 mm de diámetro

Fuente: Straziscar, V. y Melgar, R. (2003). FERTILIZAR - INTA Pergamino

Lectura recomendada: Manejo del Azufre y Fertilizantes Azufrados en Siembra Directa. Por Ing. Agr. PhD. Ricardo Melgar, INTA Pergamino e Ing. Agr. Mercedes Gearhart Honeywell.

2.4. RECURSOS DE YESO EN LA ARGENTINA

En la Argentina existen cuantiosas reservas de yeso, aunque su grado de explotación se ve afectado por su calidad y ubicación geográfica. Los más importantes, por reservas y leyes, son los yacimientos de origen marino ubicados en la cuenca neuquina (provincias del Neuquén, Mendoza y Río Negro), aunque los depósitos lacustres situados en cuencas intermontanas de los sectores extraandinos son muy explotados por su cercanía a los principales centros de consumo. Las cuatro regiones del país con mayor potencial para la producción de yeso con destino al uso agrícola son: a) cuenca neuquina, b) oeste y centro-oeste argentino, c) Buenos Aires - La Pampa y d) suroeste de Mesopotamia (Entre Ríos).

Con referencia a los ambientes geológicos de formación de los yacimientos de yeso en dichas regiones, en la cuenca neuquina se desarrollaron fundamentalmente depósitos de yeso que corresponden a las fajas litogenéticas de depósitos marinos y litorales cretácico-terciarios y depósitos marinos jurásico-cretácicos. En el oeste y centro-oeste argentino los yacimientos

de yeso corresponden a las fajas de depósitos de cuenca neógenos y depósitos continentales cretácicos, mientras que en el suroeste de Mesopotamia los yacimientos pertenecen a la faja litogenética de depósitos de cuencas palustre-lacustres pleistocenos. Las características geológicas de estas fajas litogenéticas se presentan en Gozálvez et al. (2004).

2.4.1. CUENCA NEUQUINA

Los depósitos de yeso de origen marino se circunscriben principalmente a la cuenca neuquina, que abarca un sector de las provincias de Mendoza y Río Negro y casi la totalidad de la provincia del Neuquén. Forman parte de los depósitos evaporíticos de unidades litológicas mesozoicas, como las formaciones Auquilco (Jurásico superior), Huitrín (Cretácico medio), Allen (Cretácico superior) y Roca (Cretácico superior). Se caracterizan por ser depósitos de gran extensión y espesores variables, alcanzando en áreas deformadas tectónicamente potencias de hasta 300 metros. Las reservas son cuantiosas y la calidad del yeso es en todos los casos superior a 80% CaSO₄·2H₂O. La región cuenta con varios yacimientos actualmente en actividad cuyo material es utilizado, principalmente, en la industria cementera y en la construcción en general, aunque algunos de los situados en la provincia de Río Negro han comenzado a proveer las necesidades del agro. La producción regional es fluctuante; de acuerdo con datos de la Estadística Minera de la República Argentina en el año 2002 alcanzó un total estimado en 175.000 t (más datos en tabla 3).

Los depósitos de la provincia de Río Negro se encuentran en las cercanías de las localidades de General Roca y Allen. Constituyen depósitos mantiformes, con bancos de hasta 2 metros de potencia interstratificados con arcillitas y margas de la Formación Allen, y de hasta 15 metros de potencia en la Formación Roca; los principales exponentes son los yacimientos Agüero y Lucía. En la provincia de Mendoza los yacimientos se localizan en los alrededores de la localidad de Malargüe; el yeso se presenta como mantos de mineral blanco interdigitado con lentes de anhidrita gris azulada, en la base de la Formación Auquilco (área de Cañada Ancha), como también en lentes de yeso gris blanquecinos de hasta 30 metros de espesor interstratificados con lutitas y arcillitas de la Formación Huitrín (sector de Campo de los Militares). En la provincia del Neuquén los depósitos de yeso forman parte de la Formación Huitrín, ubicados en las zonas de Auquilco, volcán Tromen y la sierra de Vaca Muerta. Todos ellos comprenden extensos mantos de yeso de hasta 90 km² de superficie (Tromen) con importantes espesores.

En la ficha de depósitos N° 1 se mencionan las principales características geológico-mineras de los yacimientos de la cuenca neuquina.

PROVINCIA	1998	2000	2002 (estimada)
Mendoza	62.600	79.780	15.000
Neuquén	6.131	7.596	7.000
Río Negro	108.739	173.736	153.510

Fuente : Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 3. Producción de yeso (en t) de la cuenca neuquina en los años 1998, 2000 y 2002

Potencial de uso agrícola de los yacimientos de la cuenca neuquina:

Ventajas:

- Aptitud probada
- Reservas del orden de cientos de millones de toneladas
- Canteras desarrolladas.

Restricciones:

- Distancia a las áreas con necesidades de azufre.

2.4.2. OESTE Y CENTRO-OESTE ARGENTINO

El sector centro y norte occidental del territorio argentino presenta numerosas cubetas sedimentarias generadas principalmente durante la orogenia andina, en el ámbito del antepaís. En estos depocentros de ambientes continentales en áreas de clima árido a semi-árido se formaron depósitos de yeso de diversos tamaños, pureza e importancia económica. Desde el punto de vista litoestratigráfico forman parte de la Formación Río Salí, Estratos Calchaquenses, Estratos de Los Llanos, Formación Lagarcito y Formación Las Mulitas. Estos yacimientos, distribuidos en las provincias de San Luis, San Juan, La Rioja, Catamarca, Santiago del Estero, Tucumán y Salta, se han explotado históricamente como materia prima para la industria de la construcción y más específicamente la industria cementera.

En general son mantos de yeso de hasta 2,5 metros de potencia, con intercalaciones de láminas de arcillitas, compuestos por láminas de yeso masivo, compacto, y por bochas de textura sacaroide y diámetro variable (5 a 50 cm) soportadas por una matriz arcillosa. Son yacimientos pequeños, con material de calidad muy variable (80 a 98 % $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). En la provincia de La Rioja el yeso se localiza en la cuenca de Los Llanos, desarrollada al este y oeste de la sierra homónima, donde se depositaron los Estratos de los Llanos que sobresalen como montículos entre el relleno cuaternario. Más hacia el norte, en el extremo sur de la provincia de Catamarca, se destaca el yacimiento Rossana,

con un manto de yeso intercalado entre sedimentitas de la misma unidad que la anterior.

Estos depósitos constituyen la prolongación de la cuenca yesífera de Santiago del Estero, donde los niveles de yeso se intercalan con arcillitas verdes. Inmediatamente al norte, en Tucumán y Salta, la cuenca de Vipos-Tapia desarrollada al este de las Cumbres Calchaquies y de la Sierra de La Ramada contiene depósitos de yeso entre las limolitas arcillo-arenosas de la Formación Río Salí. En la provincia de San Luis, sobre el flanco sudeste de la sierra del Gigante, existen depósitos constituidos por uno o dos bancos de yeso de 0,7 a 2,0 metros de espesor, de color blanco grisáceo y rojizo, estructura compacta a granular, intercalados con arcillitas rojas de la Formación Lagarcito. En la ficha de depósitos N° 2 se mencionan las principales características geológico-mineras de los yacimientos del oeste y centro-oeste argentino.

La producción de yeso en esta región ha disminuido en los últimos años; en 2002, según datos de la Estadística Minera de la República Argentina, no superó 75.000 t (ver datos en tabla 4).

Potencial de uso agrícola de los yacimientos del oeste y centro-oeste argentino:

Ventajas:

- Numerosas canteras (aunque con producción intermitente)
- Alta calidad
- Ubicación geográfica cercana a áreas con necesidades

Restricciones:

- Condiciones no económicas de explotación en numerosas canteras.

2.4.3. BUENOS AIRES – LA PAMPA

Aquí se agrupan los yacimiento de yeso de las provincias de Buenos Aires y La Pampa, que están circunscriptos a los depósitos cuaternarios fluvio-palustres-lacustres de ríos importantes como el Quequén Salado

PROVINCIA	1998	2000	2002 (estimada)
San Luis	18.678	22.970	14.775
Catamarca	114.050	67.991	34.285
Santiago del Estero	35.000	31.000	10.000
Tucumán	40.522	s/d	11.038

Fuente : Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 4. Producción de yeso (en t) de los yacimientos del oeste y centro-oeste argentino.

y Salado. Los niveles yesíferos forman parte de los sedimentos Postpampeanos, Formación Luján y Formación Lobos. Tienen como característica principal ser depósitos con importantes reservas, aunque de baja ley, localizados en el centro del área agrícola nacional. La producción de yeso en la región no es significativa debido a que varios de estos depósitos están cercanos al límite económico de explotabilidad.

Los yacimientos de la provincia de La Pampa se localizan en el extremo sudoeste de la provincia, en las cercanías de la localidad de Puelches, a ambos lados del río Salado; los depósitos en esta región son bancos de yeso de más de 2 metros de espesor con tres horizontes de diferente calidad cuyas leyes aumentan de base a techo (de 50-70 a 80-90% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Los bancos se asocian con lentes de limos y arcillas de ambiente lacustre intercalados en areniscas fluviales. En Buenos Aires se investigó la potencialidad de los depósitos del río Quequén Salado, cuyos contenidos son variables entre 50 y 90 % $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en una capa mineralizada con yeso pulverulento, en algunos sectores masivo, con espesor de 4 metros, intercalada con sedimentos cuaternarios. Asimismo, en depósitos de los arroyos El Siasgo y Poronguito, tributarios del río Salado, se han identificado yacimientos de yeso intrasedimentarios donde cristales individuales o agregados aislados de yeso de tamaño arena se dispersan aleatoriamente en la masa de sedimentos. En el arroyo El Siasgo se definieron 51 Mt de yeso en un área de 2.080 ha con sedimentos con ley de 69,7% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, y en el arroyo Poronguito las reservas ascienden a 6,1 Mt en un área de 246,8 ha con un contenido de 54,8% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Dangavs, 2001; Dangavs y Blasi, 2002). En la ficha de depósitos N° 3 se mencionan las principales características geológico-mineras de los yacimientos de la región Pampeana. La producción de esta región, fundamentalmente aportada en los últimos años por la provincia de Buenos Aires, es del orden de 80.000 toneladas anuales (más datos en Tabla 5).

Potencial de uso agrícola de los yacimientos de la región de Buenos Aires - La Pampa:

Ventajas:

- Localización en el centro del área productiva agrícola nacional

Restricciones:

- Calidad (alto contenido de CaCO_3)
- Condiciones de explotabilidad
- Reservas acotadas

2.4.4. SUROESTE DE MESOPOTAMIA

Las acumulaciones de yeso con importancia económica se encuentran en la provincia de Entre Ríos; forman parte de depósitos de cuencas palustres-lacustres cuya edad es del Pleistoceno medio (Formación Hernandarias). Han sido intensamente explotados y se distribuyen a lo largo de una extensa faja submeridiana a orillas del río Paraná, entre la población de Piedras Blancas y el norte de Paraná. La provincia de Entre Ríos mantiene una producción sostenida de yeso que ronda 100.000 t anuales (ver tabla 6); el material extraído es utilizado mayormente en la elaboración de productos para la construcción y una porción se destina a cementeras paraguayas. El yeso se encuentra como nódulos en un horizonte limo-arcilloso, con hasta 15% de nódulos de yeso de 15 cm de tamaño máximo y algunas concreciones (rosetas), que forma parte de la sección basal de la Formación Hernandarias. El material yesífero se originó en un ambiente palu-lacustre, y el principal mecanismo de aporte de sulfato de calcio fue la lixiviación de la Formación Paraná, unidad infrayacente, de origen marino, edad terciaria y muy extendida en la región (Romero y Schalamuk, 1992).

En la principal faena minera activa de importancia en la actualidad en esta localidad (cantera Cabrol) el horizonte yesífero que se explota tiene 6 a 7 metros de potencia y subyace un nivel de suelo, loess y arcillas de 8 metros de espesor; la cantera es un *pit* del orden de 100 metros de diámetro y 15 metros de profundidad.

En la ficha de depósitos N° 4 se mencionan las principales características geológico-mineras de los yacimientos de yeso de la región suroeste de Mesopotamia.

Potencial de uso agrícola de los yacimientos del suroeste de la Mesopotamia:

Ventajas:

- Alta calidad química
- Proximidad a las áreas agrícolas con mayor necesidad de azufre

Restricciones:

- Escasez de canteras
- Reservas no desarrolladas
- Terrenos de alto valor ganadero y agrícola

PROVINCIA	1998	2000	2002 (estimada)
Buenos Aires	78.163	80.500	65.595
La Pampa	63.243	88	210

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 5. Producción de yeso (en t) de yacimientos de la región Buenos Aires - La Pampa

PROVINCIA	1998	2000	2002 (estimada)
Entre Ríos	104.745	77.616	116.396

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 6. Producción de yeso (en t) de yacimientos de la región suroeste de Mesopotamia

FICHA Nº 1 DEPÓSITOS DE YESO DE LA CUENCA NEUQUINA													
IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN				RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O				Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización	
	Cañada Ancha	Mendoza	40 km al NNO de Malargüe	35° 05'	69° 50'	Del orden de decenas de millones de toneladas (recurso)	90 a 98 % CaSO ₄ .2H ₂ O	Apto	Evaporitas marinas	Mantos de yeso de hasta 200 m de espesor compuestos por capas de yeso sacaroides interdigi- tado con lentes de anhidrita	F. Auquileo	Jurásico superior	Angellelli et al., 1976; 1980; Etcheverry, 1999
	Campo de Los Militares	Mendoza	10 a 15 km al O de Malargüe	35° 32'	69° 50'	Del orden de decenas de millones de toneladas (recurso)	90 a 98 % CaSO ₄ .2H ₂ O	Apto	Evaporitas marinas	Mantos lenticulares de yeso de 2 a 5 km de corrida y hasta 30 m de espesor e inclinados de 10°; formados por yeso sacaroides entre niveles de material limo-arcilloso.	F. Huitrín	Cretácico medio	Angellelli et al., 1976; 1980; Etcheverry, 1999
	Auquileo	Neuquén	Entre Chos Malal y Buta Ranquil	37° 13'	69° 50'	200 Mt (potenciales)	90-98 % CaSO ₄ . 2H ₂ O	Apto. Importantes reservas	Evaporitas marinas	Manto de yeso de 1,7 km de corrida y potencia variable (hasta 100 m)	F. Hurrín	Cretácico medio	Angellelli et al., 1976; 1980; Etcheverry, 1999
	Sierra de Vaca Muerta	Neuquén	50 km al NO de Zapala	38° 35'	70° 13'	60 Mt (identificadas)	80,0 a 98,0 % CaSO ₄ . 2H ₂ O	Apto	Evaporitas marinas	Banco de yeso compacto, de 7 m de espesor, color blanco grisáceo, grano fino a medio y cubierto por 0,8 a 1 m de yeso , lajoso en parte pulverulento. Sierra de Vaca Muerta posee depósitos de yeso a lo largo de 2 km con potencias que llegan a 100 m.	F. Huitrín	Cretácico medio	Angellelli et al., 1976; 1980; Etcheverry, 1999; Bruna, 1999
Alto Valle	Aguada Malleo, Castiglione, Estrella del sur	Río Negro	En cercanías de las localidades de Allen y General Roca	38° 48'	67° 49'	50 Mt	85 a 98 % CaSO ₄ .2H ₂ O	Apto	Evaporitas marinas	Bancos de yeso subhorizontales, color blanco a gris, compactos y tambien estratificados, con intercalaciones de niveles arcillosos y margosos.	F. Allen: fangolitas con niveles pirocásticos; areniscas	Cretácico superior	Angellelli et al., 1976; 1980; Etcheverry, 1999; Bruna, 1999
	Lucía	Río Negro	En cercanías de las localidades de Allen y General Roca	38° 46'	67° 43'	8 Mt (medidas)	90 a 98 % CaSO ₄ .2H ₂ O	Apto	Evaporitas marinas	Banco de yeso de 15 m de espesor	F. Roca: calcáreos organogénicos; yeso	Cretácico superior	Angellelli et al., 1976; 1980; Etcheverry, 1999; Bruna, 1999

FICHA N° 2 DEPÓSITOS DE YESO DEL OESTE Y CENTRO-OESTE ARGENTINO													
IDENTIFICACIÓN			UBICACIÓN			RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O				Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización	
Salas de Pocitos	Punta Negra	Salta	NO del salar de Pocitos; 1 km del paraje Pozo Cavado	24° 15'	67° 06'	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Lacustre continental	Manto de 150 m de corrida y 0,6 m de espesor promedio	F. Pozuelos: areniscas y limolitas pardas	Mioceno-Plioceno	Schalamuk <i>et al.</i> , 1983
Rosario de la Frontera	Puente de Plata	Salta	40 km de Rosario de la Frontera	25° 57'	64° 44'	Sin datos	83,5% CaSO4.2H2O	Apto. Limitado por calidad química	Lacustre continental	Cuerpo tabular de 400 m de corrida y 40 a 60 m de ancho; espesor promedio de 0,8 m	F. Ariza: sedimentos limo arcillosos verdes	Mioceno	Schalamuk <i>et al.</i> , 1983
Vipos-Tapia	Vipos	Tucumán	25 km al norte de la ciudad de S. M. de Tucumán	26° 27'	65° 23'	304.000 t medidas en Vipos-Tapia	74 a 94% CaSO4.2H2O	Limitado. Depósitos de escaso espesor y en algunos sectores con potente encampe	Evaporitas de playa formadas en cuencas endorreicas continentales	Capas de gypsita separadas por delgadas laminas de arcillitas verdes y capas de yeso macizo. En conjunto alcanzan 2 m de espesor	F. Río Salí: limolitas arcillo-arenosas con intercalaciones de bancos de yeso	Mioceno medio	Mon, 1978; Gamundi y Martensen, 1999
Sierra La Ramada	El Mollar	Tucumán	Al O de la ciudad de S. M. De Tucumán, sobre el flanco oriental de las sierras de La Ramada y del Campo	26° 31'	64° 53'	1,4 Mt (para el distrito)	90% CaSO4.2H2O	Apto	Evaporitas de playa formadas en cuencas endorreicas continentales	Manto yesífero de 0,6 m formado por niveles de limolitas y arcillitas varicolores y yeso	F. Río Salí: limolitas arcillo-arenosas	Mioceno medio	Suayter y Urdaneta, 1974; Gamundi y Martensen, 1999
Vipos-Tapia	Tapia	Tucumán	25 km al norte de la ciudad de S. M. de Tucumán	26° 34'	65° 20'	304.000 t medidas en Vipos-Tapia	74 a 94% CaSO4.2H2O	Limitado. Depósitos de escaso espesor y en algunos sectores con potente encampe	Evaporitas de playa formadas en cuencas endorreicas continentales	Capas de gypsita separadas por delgadas laminas de arcillitas verdes y capas de yeso macizo. En conjunto alcanzan 2 m de espesor	F. Río Salí: limolitas arcillo-arenosas con intercalaciones de bancos de yeso	Mioceno medio	Mon, 1978; Gamundi y Martensen, 1999
Taruca Pampa	Compañía Minera del Norte S.R.L	Tucumán	Al O de la ciudad de S. M. De Tucumán, sobre el flanco oriental de las sierras de La Ramada y del Campo	26° 36'	64° 42'	1,4 Mt (para el distrito)	90% CaSO4.2H2O	Apto	Evaporitas de playa formadas en cuencas endorreicas continentales	Manto yesífero de 0,6 m formado por niveles de limolitas y arcillitas varicolores y yeso	F. Río Salí: areniscas, limolitas	Mioceno medio	Suayter y Urdaneta, 1974; Gamundi y Martensen, 1999

FICHA Nº 2 DEPÓSITOS DE YESO DEL OESTE Y CENTRO-OESTE ARGENTINO													
IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN				RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRICOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O				Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización	
	El Tablado	Santiago del Estero	5,5 km al N de Villa Guasayán	27° 45'	64° 53'	20,7 Mt probadas + probables (para 26 yacimientos de yeso de la provincia)	80 a 98% CaSO4.2H2O	Aptos. Con alguna limitante por calidad química	Evaporitas lacustres	Bancos lenticulares. Niveles de yeso de 0,15 a 0,80 m de potencia, color blanco con diversas tonalidades a gris oscuro, están separados por capas de arcillitas verdes y cubiertos por un encap de pocos centímetros hasta 3 metros	F. Las Cañas: arcillitas verdes	Plioceno	Dirección Provincial de Minería, 1973: Angelelli <i>et al.</i> , 1980
	El Jumial	Santiago del Estero	55 km al O de la ciudad de Santiago del Estero	27° 50'	64° 45'				Evaporitas lacustres		F. Río Salí: arcillitas, yeso y areniscas	Mioceno	
	La Melita	Santiago del Estero	58 km al O de la ciudad de Santiago del Estero	27° 52'	64° 45'				Evaporitas lacustres	F. Río Salí: arcillitas, yeso y areniscas	Mioceno		
	El Galpón	Santiago del Estero	1,8 km al N del yacimiento La Melita	27° 56'	64° 50'				Evaporitas lacustres	F. Río Salí: arcillitas, yeso y areniscas	Mioceno		
	Tres Pocitos	Santiago del Estero	Al oeste de la localidad de Sol de Mayo	28° 30'	65° 02'				Evaporitas lacustres	F. Las Cañas: arcillitas	Plioceno		
	Rossana	Catamarca	34 km al OSO de Esquiú	29° 30'	65° 29'	Sin datos	90,1% CaSO4.2H2O	Apto	Evaporitas de lagos y lagunas de climas áridos	Banco de 0,5 a 1,5 m de espesor con nódulos de yeso de 30 cm en una matriz limo-arcillosa pardo rojiza	F. Portillo: areniscas, limolitas, conglomerados	Plioceno	Schalamuk <i>et al.</i> , 1983

FICHA N° 2 DEPÓSITOS DE YESO DEL OESTE Y CENTRO-OESTE ARGENTINO												
IDENTIFICACIÓN			UBICACIÓN			POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS	
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O		RECURSOS/RESERVAS	LEYES	Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización
Patquia Viejo	Patquia Viejo I y II	La Rioja	50 km al S de la localidad de Patquia	30° 09'	66° 59'		297.000 t (medidos)	93% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Evaporitas lacustres	Mantos mineralizados con niveles de yeso fibroso, granular y nódulos entre láminas de arcillas, tobos y niveles bentónicos	Estrato de Los Llanos: areniscas, conglomerados	Terciario
	La Salvadora, Paz, Progreso	La Rioja	A 12 km al SE de Chamental	30° 20'	66° 11'		1,55 Mt	93,9 a 99,5% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Evaporitas lacustres	Manto mineralizado de 0,4 a 1,1 m de potencia formado por bochas de yeso de hasta 60 cm y niveles de yeso macizo	Estrato de Los Llanos: areniscas arcillosa rojiza	Terciario
	Los Coloraditos, Yeso 1, 2 y 3, La Reforma-Cielito	La Rioja	50 km al S de la localidad de Patquia	30° 39'	66° 50'		5,5 Mt	91,9% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Evaporitas lacustres	Mantos mineralizados con niveles de yeso fibroso, granular y nódulos entre láminas de arcillas, tobos y niveles bentónicos	Estrato de Los Llanos: areniscas, limolitas arcillosas	Terciario
	Las Aguaditas	San Juan	167 km al SE de la ciudad de San Juan	31° 40'	67° 52'		Sin datos	Sin datos	Evaporitas lacustres	Manto mineralizado de 3 m de espesor formado por una superposición de láminas de yeso de 2 a 6 cm y arcillas varicolores además de bochas de yeso de 50 cm	Estratos Calchaquenses: arcillitas, limolitas y areniscas finas	Terciario
	Canteras Recomar	San Luis	60 km al NO de la ciudad de San Luis	32° 54'	66° 39'		Sin datos	93% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Evaporitas lacustres	Manto homoclinal subhorizontal de 1.000 m de largo y 200 m de ancho con dos bancos de yeso de 0,7 y 1 m de espesor separados por una capa de arcillita (15 cm)	F. Lagarico: arcillas rojas	Cretácico superior
	Cantera Lucho	San Luis	Oeste de la salina del Bebedero, entre Alto Pencoso y Masnota	33° 31'	66° 52'		Sin datos	83-98 % $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Evaporitas lacustres	Manto mineralizado con dos capas de yeso, una superior de 0,6 m de espesor y yeso macizo y una inferior de 0,7 m de espesor formada por bochas de 30 cm	F. Las Mullitas: arcillas	Terciario superior
												Angellelli <i>et al.</i> , 1980; Angellelli y Schalamuk, 1981
												Angellelli <i>et al.</i> , 1980; Angellelli y Schalamuk, 1981

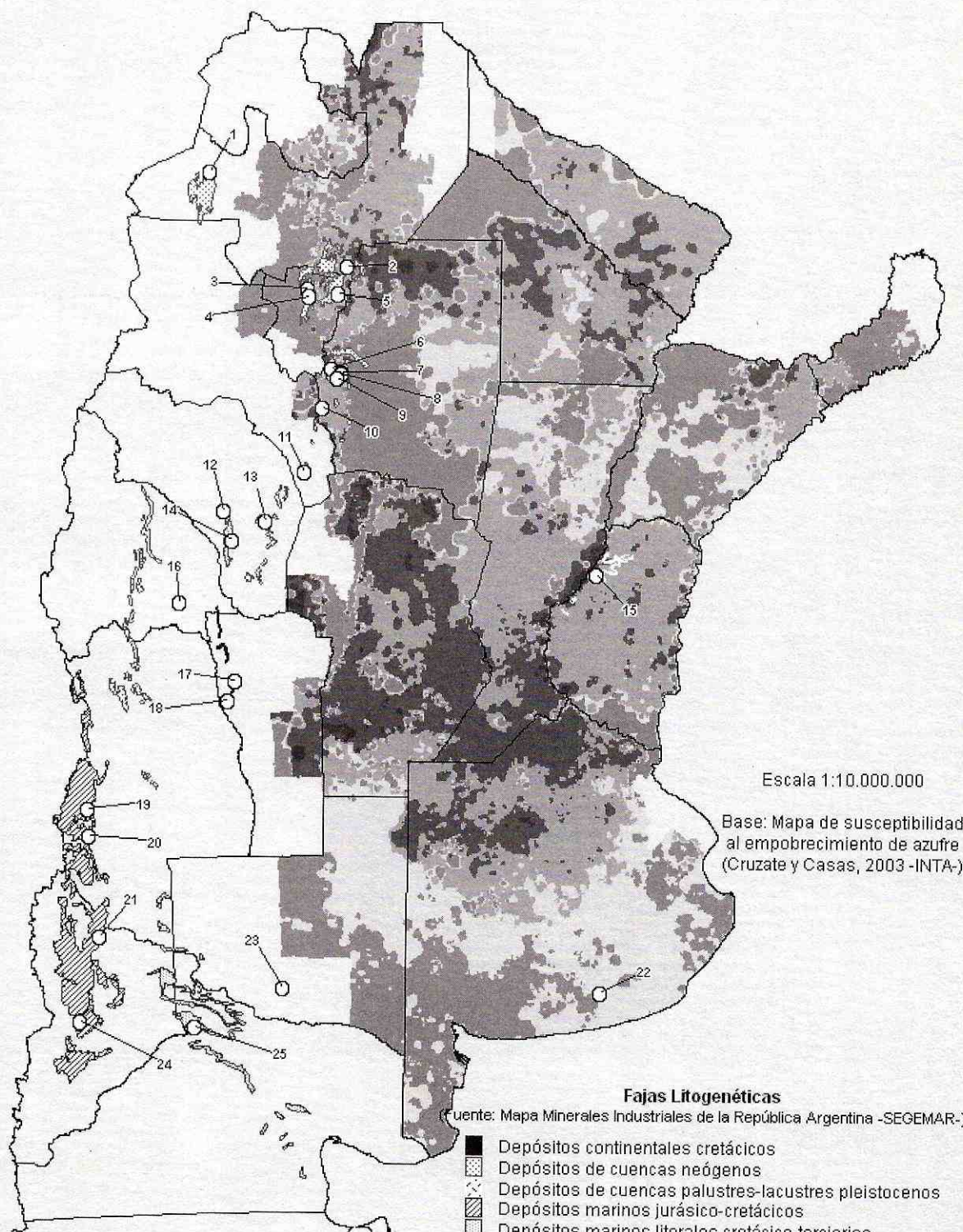
FICHA N° 3 DEPÓSITOS DE YESO DE LA REGIÓN DE BUENOS AIRES LA PAMPA													
IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN			RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS	
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S				Longitud O	Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno		Edad de la mineralización
	Cuenca del Río Quequén- Salado	Buenos Aires	65 km al E de la ciudad de Coronel Dorrego	38° 10'	59° 19'	8.000.000 t (indicados)	46,7 a 90,2% CaSO ₄ .2H ₂ O	Limitación de calidad química	Evaporitas lacustres	Capa mineralizada con yeso pulverulento, color blanco amarillento a gris; en algunos sectores se presenta masivo, compacto, con un espesor de hasta 4 metros, con cristales y rosetas de yeso.	Depósitos Postpampeanos; limos gris oscuro y arenas	Holoceno medio	Angelelli <i>et al.</i> , 1976
	Puelches	La Pampa	En las cercanías de la localidad de Puelches	38° 11'	65° 54'	40 Mt	70 - 90% CaSO ₄ . 2H ₂ O	Limitación de calidad química	Evaporitas lacustres	Lentes de limos y arcillas asociados a tres horizontes de yeso de espesores variables (0,2 a 1,2 m)	F. Luján: depósitos limo arenosos a areno limosos. F. Lobos: sedimentos pelíticos	Cuaternario	Angelelli <i>et al.</i> , 1976

FICHA N° 4 DEPÓSITOS DE YESO DE LA MESOPOTAMIA													
IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN				RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA			REFERENCIAS	
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O				Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno		Edad de la mineralización
	Tuyango, Cabrol, Aebi	Entre Ríos	Entre Piedras Blancas y Paraná	31° 15'	59° 58'	> 20 Mt (inferidos)	92 a 95 % CaSO ₄ ·2H ₂ O	Apto. Explotación condicionada por encape y aptitud agrícola del suelo.	Evaporitas lacustres	El yeso se encuentra como nódulos de 10 a 15 cm de diámetro (excepcionalmente 30 cm) en arcillas no aflorantes	F. Hernandarias: limo arcillas verde olivas	Pleistoceno medio-superior	Schalamuk <i>et al.</i> , 1999; Hermann, 2003

Yacimientos de yeso

Número	Latitud	Longitud	Sustancia	Yacimiento
1	24° 27'	67° 09'	Yeso	Punta Negra
2	26° 03'	64° 38'	Yeso	Puente de Plata
3	26° 27'	65° 22'	Yeso	Vipos
4	26° 34'	65° 19'	Yeso	Tapia
5	26° 30'	64° 49'	Yeso	Compañía Minera del Norte S.R.L
6	27° 44'	64° 55'	Yeso	El Tableado
7	27° 49'	64° 45'	Yeso	El Jumial
8	27° 52'	64° 45'	Yeso	La Melita
9	27° 55'	64° 49'	Yeso	El Galpón
10	28° 26'	65° 05'	Yeso	Tres Pocitos
11	29° 30'	65° 26'	Yeso	Rossana
12	30° 09'	66° 58'	Yeso	Patquía Viejo I y II
13	30° 19'	66° 10'	Yeso	La Salvadora, Paz, Progreso
14	30° 39'	66° 49'	Yeso	Los Coloraditos, Yeso 1, 2 y 3, La Reforma-Cielito
15	31° 08'	59° 48'	Yeso	Tuyango, Cabrol, Aebi
16	31° 40'	67° 52'	Yeso	Las Aguaditas
17	33° 00'	66° 50'	Yeso	Canteras Recomar
18	33° 20'	66° 59'	Yeso	Cantera Lucho
19	35° 04'	69° 49'	Yeso	Cañada Ancha
20	35° 31'	69° 49'	Yeso	Campo de Los Militares
21	37° 13'	69° 42'	Yeso	Auquenco
22	38° 10'	59° 19'	Yeso	Cuenca del Río Quequén-Salado
23	38° 11'	65° 57'	Yeso	Durlock S.A.C.I
24	38° 38'	70° 13'	Yeso	Sierra de Vaca Muerta
25	38° 48'	67° 49'	Yeso	Alto Valle

RECURSOS DE YESO PARA LAS NECESIDADES DE AZUFRE



Fajas Litogenéticas

(Fuente: Mapa Minerales Industriales de la República Argentina -SEGEMAR-)

- Depósitos continentales cretácicos
- ▨ Depósitos de cuencas neógenos
- ▤ Depósitos de cuencas palustres-lacustres pleistocenos
- ▧ Depósitos marinos jurásico-cretácicos
- ▩ Depósitos marinos litorales cretácico-terciarios

Susceptibilidad al empobrecimiento de azufre

- 1 Baja
- ▨ 2 Baja a moderada
- ▤ 3 Moderada
- ▧ 4 Moderada a alta
- ▩ 5 Alta

REGIONES YESÍFERAS DE LA ARGENTINA

SUROESTE DE LA MESOPOTAMIA

Características	<ul style="list-style-type: none"> Nódulos de yeso en horizonte limo-arcilloso no aflorante. 10 a 12% de nódulos en horizonte de 3 a 7 metros de potencia. Encape: arcillas, loess y suelo; espesor variable hasta 8 metros. Calidad: 95,8% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso en nódulos); 94,9% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso en rosetas). Explotación: canteras semicirculares de 3 a 4 ha de superficie. Separación arcilla-yeso en cantera. Usos: elaboración de yesos para construcción; cemento.
	<p>Potencial de uso agrícola</p> <p><i>Ventajas:</i> alta calidad química; proximidad a las áreas agrícolas con mayor necesidad de azufre.</p> <p><i>Restricciones:</i> escasez de canteras; reservas no desarrolladas; terrenos de alto valor agrícola-ganadero.</p>
Geología	<ul style="list-style-type: none"> Horizonte de la Formación Hernandarias (Pleistoceno medio). Modelo de depósito: evaporitas lacustres. Faja litogenética: depósitos de cuencas palustres-lacustres pleistocenos.
Principales yacimientos: Distrito Alcaraz 2° (Piedras Blancas)	
Producción: 100.000 t anuales.	

CUENCA NEUQUINA

Características	<ul style="list-style-type: none"> Estratos potentes, subhorizontales y aflorantes. Gran extensión areal. Espesores de hasta 15 metros en Río Negro y hasta 200 metros en depósitos de Mendoza y Neuquén. Calidad: 90 a 98,5% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Explotación: canteras con frentes de hasta 2 km Usos: yesos para construcción; placas premoldeadas; cemento; agricultura.
	<p>Potencial de uso agrícola</p> <p><i>Ventajas:</i> aptitud probada; reservas del orden de cientos de millones de toneladas; canteras desarrolladas.</p> <p><i>Restricciones:</i> distancia a las áreas con necesidades de azufre.</p>
Geología	<ul style="list-style-type: none"> Depósitos evaporíticos de las formaciones Auquillo (Jurásico superior), Huitrín (Cretácico medio), Allen (Cretácico superior) y Roca (Cretácico-Paleógeno). Modelo de depósitos: evaporitas marinas. Fajas litogenéticas: Depósitos marinos jurásico-cretácicos. Depósitos marinos y litorales cretácico-terciarios
Principales yacimientos	<ul style="list-style-type: none"> Río Negro: en los alrededores de General Roca (canteras Corral, Transallen, Dan Vic y otras). Neuquén: región de Auquillo, Tromen y Sierra de Vaca Muerta (cantera Cerro Nevado). Mendoza: Cañada Ancha (canteras Puente del Inca y Las Torrecillas) y Campo de Los Militares (canteras La Negra, Cerro Alto y Pequeño).
Producción: Río Negro 150.000 t anuales. Mendoza 60.000 t anuales. Neuquén 7.000 t anuales.	

BUENOS AIRES – LA PAMPA

Características	<ul style="list-style-type: none"> Horizontes de yeso de 2 a 4 metros de espesor asociados a lentes de limos y arcillas intercalados en areniscas, circunscriptos al los valles de los ríos Salado (La Pampa) y Quequén Salado (Buenos Aires). Calidad: leyes desde 50 a 90% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 1 a 34% CaCO_3. Yeso pulverulento a masivo. Usos: cemento, placas premoldeadas.
	<p>Potencial de uso agrícola</p> <p><i>Ventajas:</i> localizados en el centro del área productiva agrícola nacional.</p> <p><i>Restricciones:</i> calidad (alto contenido de CaCO_3), condiciones de explotabilidad, reservas acotadas.</p>
Geología	<ul style="list-style-type: none"> Depósitos cuaternarios fluvio-palustres-lacustres de ríos importantes como el Quequén Salado y Salado. Los niveles mineralizados forman parte de los sedimentos Postpampeanos, Formación Luján y Formación Lobos. Modelo de depósitos: evaporitas lacustres. Faja litogenética: depósitos evaporíticos cuaternarios en salares y cuencas endorreicas.
Principales yacimientos	<ul style="list-style-type: none"> Buenos Aires: río Quequén Salado. La Pampa: Puelches.
Producción: Buenos Aires: 70.000 t anuales. La Pampa: muy variable.	

CENTRO – OESTE ARGENTINO

Características	<ul style="list-style-type: none"> Horizontes yesíferos de hasta 2,5 metros de potencia, con intercalaciones de arcillitas. Encape: variable, hasta 3 metros. Calidad: yeso masivo y nódulos. El contenido de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ varía de 80 a 98%. Usos: cemento, molduras, industria de la construcción.
	<p>Potencial de uso agrícola</p> <p><i>Ventajas:</i> numerosas canteras (producción intermitente); alta calidad; ubicación geográfica cercana a áreas con necesidades.</p> <p><i>Restricciones:</i> condiciones no económicas de explotación en numerosas canteras.</p>
Geología	<ul style="list-style-type: none"> Depósitos de ambientes lacustres de clima árido a semi-árido en cubetas terciarias vinculadas al orógeno andino. Son parte de la Formación Río Salí, Estratos Calchaquenses, Estratos de Los Llanos, Formación Lagarcito y Formación Las Mulitas. Modelo de depósito: evaporitas lacustres. Fajas litogenéticas: depósitos de cuenca neógenos. Depósitos continentales cretácicos.
Principales yacimientos	<ul style="list-style-type: none"> Cantera Recomar (San Luis); cantera Rossana (Catamarca); áreas de Vipo-Tapia y Taruca Pampa (Tucumán) y sierra de Guasayán (Santiago del Estero).
Producción: San Luis: 20.000 t anuales; Catamarca: variable 60.000 t anuales promedio; Santiago del Estero: 25.000 t anuales; Tucumán: variable 20.000 t anuales promedio.	

CAPÍTULO III

CALCIO Y MAGNESIO

3.1. MINERALES Y ROCAS QUE PROVEEN CALCIO Y MAGNESIO: CALIZAS Y DOLOMÍAS.

Calcio y magnesio son elementos de gran abundancia en la naturaleza. Las rocas carbonáticas constituyen el recurso natural más común y extendido, cuyo contenido en calcio y magnesio satisface la aplicación en diversas industrias. Esta denominación incluye a todas las rocas (calizas, dolomías e incluso mármoles) cuyo principal mineral constituyente es un carbonato. Si bien el grupo de estos minerales es muy amplio, se hace referencia en este trabajo en especial a la calcita (CaCO_3) y la dolomita ($[\text{Ca}, \text{Mg}]\text{CO}_3$), y las rocas que ellos constituyen.

La *caliza* es una roca sedimentaria constituida esencialmente por carbonato de calcio (CaCO_3). Se origina a partir del bicarbonato contenido en agua de mar o lagos, donde precipita, o bien es consumida en la constitución de caparazones de seres que a su muerte pueden formar acumulaciones de tamaños considerables -originando calizas organógenas, coquinas, calizas coquinoides, etc-.

La *dolomía* se forma comúnmente durante la diagénesis de la caliza por efecto de las sales de magnesio contenidas en el agua de mar (dolomitización).

Tanto la caliza como la dolomía pueden contener cantidades variables de otros elementos de origen detrítico, como cuarzo y arcillas, y también materia orgánica.

Por efecto metamórfico las calizas y dolomías dan lugar a la formación de *mármoles* calcíticos o dolomíticos, respectivamente.

Desde el punto de vista yacimientológico se reconocen depósitos de rocas carbonáticas de origen tanto sedimentario como metamórfico. Los del primer grupo se caracterizan por ser depósitos marinos de plataformas carbonáticas y en menor medida acumulaciones de organismos marinos, lo que constituye extensos depósitos de composición homogénea, alta pureza, generalmente poco deformados. Los depósitos del segundo modelo presentan gran variabilidad composicional, en muchos casos con altos contenidos de impurezas, están altamente deformados e íntimamente ligados a una compleja historia geológica de carácter orogénica, asociados a intrusivos ígneos y metamorfitas.

3.2. LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS CULTIVABLES POR ACIDIFICACIÓN

De acuerdo con investigaciones del INTA (en Cruzate y Casas, 2003) los suelos de las zonas húmedas tienen la tendencia natural a incrementar su nivel de acidez, fenómeno que es acelerado cuando se ingresa en un proceso agrícola. Los suelos de la región pampeana han sufrido un descenso en los contenidos de Ca y Mg que se manifiesta en una disminución generalizada del pH, valor que en algunas zonas como el sur de la provincia de Santa Fe y norte de la provincia de Buenos Aires alcanza valores inferiores a 6. Trabajos realizados en la región pampeana identificaron 10% de lotes agrícolas con problemas de acidez ($\text{pH} < 5,8$); 25% con problemas menos severos ($5,8 < \text{pH} < 6,2$) y 30% con $6,2 < \text{pH} < 6,5$.

Los requerimientos de Ca son variables; Cruzate y Casas (2003) indican requerimientos de 3 kg hasta 18 kg de Ca por tonelada de grano, de acuerdo con el tipo de cultivo (ver tabla 7). Durante el ciclo agrícola 2001/2002 se extrajeron de los suelos cultivados 113.720 t de Ca.

Este déficit puede subsanarse con la aplicación directa de rocas cálcicas y cálcico-magnesianas de numerosos yacimientos distribuidos en varias regiones del país, expuestos en el ítem 3.4. de este trabajo.

3.3. APLICACIÓN DE CALCIO Y MAGNESIO EN LA AGRICULTURA. CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ EDÁFICA.

La fertilidad química de un suelo está directamente vinculada con el pH del mismo. Existen varios procesos que pueden ser los causantes de la acidez edáfica; su ocurrencia dependerá del tipo de suelo, del cultivo y del manejo (Gambaudo, 2002), entre ellos: a) la extracción de cationes por los cultivos, ya que las plantas al absorber cationes liberan H^+ favoreciendo la acidificación del suelo, b) el lavado de cationes en profundidad y c) el uso de fertilizantes derivados del amoníaco, si se utilizan altas dosis por elevados períodos de tiempo.

Para el control de la acidez edáfica se recurre a los denominados *materiales calcáreos para uso agropecuario*, entre ellos:

	SOJA	TRIGO	MAIZ	GIRASOL	SORGO
Requerimiento de Ca (kg/t)	16,84	3,00	3,00	18,00	9,14

Tabla 7. Requerimientos nutricionales de calcio en los cultivos por tonelada de grano producido. Fuente: INTA. Promedio de vs publicaciones. Extraído de Cruzate y Casas (2002).

- Carbonato de calcio (CaCO_3), también mal llamado cal agrícola.
- Óxido de calcio (CaO) o cal viva.
- Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) o cal apagada.
- Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), de reacción más lenta que el carbonato de calcio pero con aporte de Mg.
- Óxido de magnesio (MgO)
- Escorias industriales (CaSiO_3 y/o MgSiO_3), producidas en el proceso de fabricación de acero, aunque tienen el inconveniente de sus altos contenidos en metales pesados y nocivos.

Gambaudo (2002) señala que la cantidad de enmienda a aplicar depende de los siguientes factores: a) cantidad necesaria para corregir la acidez hasta un nivel de neutralidad (pH 6,5 a 6,8); b) cantidad necesaria para disminuir la acidez hasta pH conveniente al crecimiento del cultivo; c) cantidad necesaria que aporte Ca y Mg para incrementar la saturación de estos cationes en el complejo de intercambio y d) cantidad necesaria para favorecer la disponibilidad de fósforo y molibdeno.

Por ello, los principales indicadores de acidez edáfica surgen del cálculo de saturación de bases y de la medición del pH, ambos realizados según normas, existiendo también otros métodos como el de curvas de neutralización (Gambaudo, 2002). El cálculo de saturación de bases indica la necesidad de encalado medido en toneladas por hectárea (t/ha), considerando la capacidad de intercambio catiónico (CIC), los porcentajes de saturación de bases actual del suelo y el deseado, y un ajuste según el poder relativo de neutralización total de la enmienda.

La calidad de los materiales calcáreos para uso agropecuario se mide -en su efecto químico- por el poder relativo de neutralización total PRNT, expresado en % en peso. El PRNT contempla tanto la concentración del material utilizado como su granulometría, dado que no existe una reacción inmediata del material que se incorpora al suelo, por lo que en la determinación del PRNT interviene el Poder Neutralizador (PN) y la Eficiencia relativa (ER) del material (Tablas 8, 9 y 10).

$$\text{PRNT} = (\text{ER} \times \text{PN}) / 100$$

Por lo tanto, los análisis químicos de los minerales, rocas o materiales aplicados como enmienda son esenciales para determinar el valor neutralizante del calcáreo para uso agrícola. Gambaudo (2002) indica que los materiales más finos, de granulometría inferior a 0,150 milímetros, son de reacción inmediata en el suelo, por lo que se aplican entre 2 y 4 meses antes de la siembra, mientras que los más gruesos, de reacción lenta y gradual, tienen reacción en períodos superiores y alcanzan su efecto hasta casi 3 años.

CALIDAD	PRNT (%)
Superior	> 90
Buena	90 a 75
Regular	74 a 60
Inferior	59 a 45

Tabla 8. Calidad de calcáreos agrícolas según su Poder Relativo de Neutralización Total. (extraído de Gambaudo, 2002)

En lo referente a las cantidades a aplicar, se reconocen “dosis de enmienda” aplicadas de hasta 3.000 kg / ha y otras desde 400 kg/ha. Estas dependen de los factores antedichos y han logrado incrementos variables en los rendimientos de acuerdo con el suelo, cultivo, historia agrícola, tiempo de aplicación y otros factores.

TAMIZ (IRAM)	EFICIENCIA RELATIVA (%)
2,36 mm	5
0,850 mm	17
0,425 mm	30
0,250 mm	55
0,150 mm	80
0,075 mm	100
< 0,075 mm	125

Tabla 10. Granulometría y Eficiencia relativa de los calcáreos de uso agrícola (Norma IRAM 22451)

CALCÁREO AGRÍCOLA	TIPO (IRAM)	COMPOSICIÓN	Eq. EN CaCO_3
Caliza	I	CaCO_3	100
Dolomita	II	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	$100 x + 119 y$
Conchilla	III	CaCO_3	100
Cal viva cálcica	IV	CaO	178
Cal viva dolomítica	V	$\text{CaO} \cdot \text{MgO}$	$178 x + 250 y$
Cal hidratada cálcica	VI	Ca(OH)_2	135
Cal hidratada dolomítica	VII	$\text{Ca(OH)}_2 \cdot \text{Mg(OH)}_2$	$135 x + 172 y$

Tabla 9. Equivalentes de Carbonato de Calcio de calcáreos agrícolas en estado puro (extraído de Gambaudo, 2002). Referencias: x= % CaCO_3 ; y= % MgCO_3

Lectura recomendada: Encalado en Soja - Experiencias en Restitución de Calcio, Magnesio y Azufre. B. González y S. Gambaudo. RASA S.A. e INTA EEA Rafaela, Convenio ENCaLAR.

3.4. RECURSOS DE CALCIO Y MAGNESIO EN LA ARGENTINA

Argentina es un importante productor de rocas carbonáticas cálcicas y cálcico-magnesianas. Existe una distribución amplia de yacimientos en todo su territorio, presentando características químicas, tecnológicas y genéticas muy variadas, ubicándose en disímiles unidades morfoestructurales y distintas regiones. Los yacimientos metamórficos están presentes en las Sierras Pampeanas, Cordillera Oriental y Macizo Nordpatagónico, y los yacimientos sedimentarios se ubican en las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires, Precordillera, Cuenca Neuquina, Noroeste argentino y Macizo Nordpatagónico. Cabe destacar que en cada uno de estos grupos se reconocen yacimientos de rocas tanto cálcicas como cálcico-magnesianas, siendo esta identificación de gran importancia en el estudio de recursos aplicados a la corrección de suelos.

Los depósitos de rocas carbonáticas se agrupan, según criterios de distribución geográfica, en cuatro regiones: a) Región Central, b) Buenos Aires, c) Precordillera y d) Cuenca Neuquina. También se consideran las acumulaciones de conchillas de la provincia de Entre Ríos como fuente de material calcáreo.

Con respecto a los ambientes geológicos de formación de estos yacimientos, en la región central del territorio argentino los depósitos de rocas carbonáticas pertenecen a dos fajas litogenéticas: el basamento precámbrico-cámbrico (rocas con Ca y Mg) y los depósitos de cuenca neógenos (Ca). En la Precordillera, los depósitos de rocas carbonáticas (Ca y Mg) corresponden a la faja litogenética de la plataforma carbonática cámbrico-ordovícica, en tanto que en Buenos Aires pertenecen a la faja litogenética de depósitos marinos del Precámbrico superior - Ordovícico (Ca y Mg). En la cuenca neuquina los yacimientos pertenecen a la faja litogenética de depósitos marinos jurásico-cretácicos. Tanto en la cuenca neuquina como en la región central también se desarrollaron depósitos de rocas carbonáticas (Ca) en la faja de depósitos marinos y litorales cretácico-terciarios. En Entre Ríos los depósitos de rocas carbonáticas (Ca) se vinculan con la faja litogenética de depósitos litorales mioceno-holocenos.

3.4.1. REGIÓN CENTRAL

Es la región más extensa del territorio; constituye una faja de dirección norte-sur que atraviesa el sector central del país desde San Luis hasta Jujuy. Comprende las provincias geológicas de Sierras Pampeanas, Cor-

dillera Oriental y las cuencas mesozoicas del noroeste argentino. La mayoría de los depósitos son metamórficos, afloran en las sierras Chica, Grande, de Guasapampa, de Pocho y Altautina de la provincia de Córdoba; en las sierras del Gigante, de La Estanzuela, de Socoscora y Comechingones en San Luis; flanco oriental de la sierra de Ancasti (Catamarca); flanco oriental de las Cumbres Calchaquies en Tucumán y por último en la quebrada de Humahuaca en la provincia de Jujuy. Se generaron durante el Neoproterozoico al Cámbrico. Son objeto de una intensa explotación para uso en la industria del cemento y la cal en general, y otras aplicaciones industriales en menor medida. El resto de los yacimientos son de origen sedimentario, edad cretácica y terciaria y se encuentran en las provincias de Jujuy y Tucumán.

Los mármoles de la Región Central presentan gran variabilidad química; de acuerdo con su contenido en calcio y magnesio, siguiendo la denominación de Sfragulla et al. (1999), los mármoles pueden presentar tendencia calcítica (entre 30 y 52% CaO y 0 a 11% MgO), dolomítica (entre 30 y 35% CaO y 13 a 21% MgO) o calcodolomítica (entre 30 y 35% CaO y 11 a 13% MgO). En este tipo de yacimientos el contenido de sílice puede ser alto, dado por los silicatos presentes en la roca. Los yacimientos consisten en cuerpos de mármol tabulares y/o lenticulares, comúnmente deformados a muy deformados y concordantes con las estructuras de las metamorfitas a las que se asocian. Las reservas de material carbonático de origen metamórfico en el territorio argentino es de varios cientos de millones de toneladas.

Los depósitos de rocas carbonáticas de origen sedimentario en el noroeste argentino afloran en la quebrada de Humahuaca (cantera Maimará) y en la sierra de Puesto Viejo (Mojón-Cerro Plano), a 74 km al norte y 55 km al sur de la ciudad de San Salvador de Jujuy, respectivamente. Son depósitos de calizas masivas, calizas oolíticas y areniscas calcáreas pertenecientes a la Formación Yacoraite (Cretácico superior-Paleoceno); la secuencia carbonática tiene hasta 10 metros de espesor e importante extensión areal, con bancos calizos de hasta 1,5 metros de potencia. La roca carbonática contiene entre 80 y 87 % de CaCO_3 . En la provincia de Tucumán, al pie de las laderas oeste y este de las sierras de La Ramada, del Campo y Medina, afloran depósitos de calizas oolíticas en bancos de hasta 2,2 metros de potencia interestratificados con pelitas y arcillitas de la Formación Río Salí. Los depósitos están cubiertos por niveles de yeso de textura sacaroide. La caliza fue generada en un ambiente continental lagunar.

De acuerdo con datos de la Estadística Minera de la República Argentina la producción anual durante el año 2002 de toda la Región Central superó 1,5 Mt de rocas carbonáticas de tendencia cálcica y 30.000 t de rocas carbonáticas de tendencia dolomítica (ver detalles en las tablas 11 y 12).

En las fichas N° 5 y N° 6 se mencionan los principales distritos y yacimientos de rocas carbonáticas cálcicas y cálcico- magnesianas, respectivamente, de la región central, con sus características geológico-mineras sobresalientes.

Potencial de uso agrícola de los yacimientos de la región central:

Ventajas:

- Importantes reservas
- Canteras desarrolladas y activas
- Ubicación geográfica (fundamentalmente sur de la provincia de Córdoba).

Restricciones:

- Alto contenido de insolubles en algunos depósitos.

3.4.2. BUENOS AIRES

La provincia de Buenos Aires es una de las más importantes productoras de rocas carbonáticas del país. Sus depósitos fueron formados en un ambiente marino de plataforma epicontinental durante el Neoproterozoico. Los yacimientos se localizan en las Sierras Septentrionales, en las inmediaciones de las localidades de Olavarría y Barker. Se distinguen depósitos de dolomías y de calizas. Los primeros pertenecen a la Formación Villa Mónica y son cuerpos lenticulares de hasta 30 metros de espesor, color castaño claro, estructura laminar, estromatolítica, con un contenido de

sílice de 1,7 a 2,3% en la parte media y de 9 a 12% en la base y techo. Se explotan como áridos o bien en bloques para revestimientos ornamentales; fueron objeto de explotación para proveer la industria siderúrgica varias décadas atrás, y luego la industria del vidrio. Los yacimientos de calizas presentan mucho mayor distribución areal y forman parte de la Formación Loma Negra. Son depósitos intensamente explotados, utilizados en la elaboración de cemento y cal para construcción. Los bancos de calizas tienen espesor medio de 40 metros, su color es negro a pardo rojizo oscuro y están formados de micrita y subesparita con contenido de limo menor a 1%, y tenores de 65 a 92% CaCO_3 .

La producción de calizas y dolomías de la provincia de Buenos Aires es la más importante volumétricamente del país, fluctuando entre 3 y 4,5 Mt anuales de caliza y en el orden de 200.000 t anuales de dolomita. En las tablas 13 y 14 se observan los tonelajes de los años 1998, 2000 y 2002.

En las fichas de depósitos N° 7 y N° 8 se detallan las principales características geológico-mineras de los yacimientos de calizas y dolomías -respectivamente- de la provincia de Buenos Aires.

Potencial de uso agrícola de los yacimientos de Buenos Aires:

Ventajas:

- Canteras desarrolladas y activas
- Cercanía geográfica a las áreas con necesidades.

PROVINCIA	1998	2000	2002
Catamarca	s/d	865.105	627.638
Córdoba	3.642.087	1.371.778	242.314
Jujuy	1.096.479	566.360	416.132
San Luis	381.268	571.660	347.623
Santiago del Estero	s/d	10.000	12.000
Tucumán	19.530	S/d	5.430

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 11. Producción de rocas carbonáticas cálcicas de la región central (en t)

PROVINCIA	1998	2000	2002
Córdoba	272.149	17.450	28.850
San Luis	2.260	18.000	1.566

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 12. Producción de rocas carbonáticas cálcico-magnesianas de la región central (en t)

PROVINCIA	1998	2000	2002
Buenos Aires	4.285.840	4.453.303	2.939.867

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 13. Producción de calizas de Buenos Aires (en t)

PROVINCIA	1998	2000	2002
Buenos Aires	212.750	280.744	44.367

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 14. Producción de dolomías de Buenos Aires (en t)

PROVINCIA	1998	2000	2002
San Juan	1.562.726	726.873	1.375.922
Mendoza	1.250.276	660.000	642.431

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 15. Producción de calizas de Precordillera (en t)

PROVINCIA	1998	2000	2002
San Juan	322.619	418.303	201.576

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 16. Producción de dolomías de Precordillera (en t)

Restricciones:

- Reservas restringidas (dolomías) y asignadas a otros usos (calizas).

3.4.3. PRECORDILLERA

Los yacimientos de esta región se ubican en los cordones precordilleranos oriental y central de las provincias de San Juan y Mendoza. Los depósitos forman parte de la extensa plataforma carbonática formada durante el Paleozoico inferior, exhumada por la tectónica andina.

Los yacimientos sanjuaninos se distribuyen en las regiones de Jáchal, Villicum y alrededores de San Juan, constituyendo un importante y altamente valorable recurso de calizas y dolomías (con reservas del orden de cientos de millones de toneladas) en explotación continua por más de tres décadas hasta la actualidad. Los espesos mantos de calizas pertenecen a la formación cámbrica La Laja y a las ordovícicas La Silla y San Juan; los mantos de dolomías son de edad cámbrica y pertenecen a las formaciones Zonda y La Flecha. La roca es un material carbonático de alta calidad utilizado en la fabricación de cales industriales (cálcicas y magnesianas) y en las industrias siderúrgica, papelera, cristalería, tratamiento de aguas, minera y cerámica, entre otras, además de cales para la construcción. En el norte de Mendoza los depósitos de calizas son más escasos y forman parte de la Formación San Juan. La caliza se presenta en bancos de gran homogeneidad textural y continuidad areal; son de color gris (varias tonalidades), grano fino a sacaroide con algunas intercalaciones de ftanita y desarrollo, en ocasiones, de vetas calcíticas.

La producción de calizas y dolomías de la región precordillerana es sostenida y de gran impacto en el mercado local y también de exportación (Chile), produciendo anualmente alrededor de 2 Mt de calizas y 0,2 a 0,4 Mt de dolomías (ver detalles en las tablas 15 y 16).

Esta región posee numerosos yacimientos, muchos

de ellos son canteras en actividad, cuyas principales características geológico-mineras se presentan en las fichas de depósitos N° 9 (rocas carbonáticas cálcicas) y N° 10 (rocas carbonáticas cálcico-magnesianas).

Potencial de uso agrícola de los yacimientos de la Precordillera:**Ventajas:**

- Alta calidad
- Importantes reservas
- Canteras desarrolladas y activas
- Posibilidad de exportación a Chile

Restricciones:

- Ubicación geográfica alejada de la región productiva nacional con mayores necesidades.

3.4.4. CUENCA NEUQUINA

La cuenca neuquina constituye una de las principales cubetas sedimentarias formadas en territorio argentino; su historia geológica está caracterizada por presentar varios ciclos sedimentarios en donde se reconocen depósitos de ambiente marino y continental. Los mantos de calizas de interés económico pertenecen al Miembro Los Catutos de la Formación Vaca Muerta (Jurásico superior) y a la Formación Picún Leufú (Jurásico superior-Cretácico); ambos son facies sublitóricas de la ingresión caloviana, en un mar cálido, poco profundo.

Los depósitos se localizan en las inmediaciones de Zapala y en la región de Vaca Muerta, en la provincia del Neuquén. En Zapala se destacan dos zonas: 1) Pichi Moncol, con mantos de calizas litográficas de entre 0,5 y 1,5 metros de espesor intercaladas entre arcillas y margas del Miembro Los Catutos y 2) Picún Leufú, con bancos de calizas detríticas fosilíferas de 0,2 a 1,6 metros de espesor de la Formación Picún Leufú. En Vaca Muerta los depósitos de calizas están formados por restos coralinos en parte silicificados de la Forma-

PROVINCIA	1998	2000	2002
Neuquén	416.730	392.225	280.210

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 17. Producción de calizas de la cuenca neuquina (en t)

ción Vaca Muerta reconocidos a lo largo de una faja de 6,5 km de largo, 2 km de ancho y espesor de hasta 30 metros.

La producción de calizas de la provincia del Neuquén es fluctuante alrededor de 350.000 t anuales. Sus yacimientos registran antecedentes de provisión al agro, con envíos a la República de Chile en los últimos años. En la tabla 17 se observa la producción durante los años 1998, 2000 y 2002.

Los principales yacimientos y sus características geológico-mineras se mencionan en la ficha de depósitos N° 11.

Potencial de uso agrícola de los yacimientos de la cuenca neuquina:

Ventajas:

- Posibilidad de exportación a Chile
- Contenido de fosfatos en algunos niveles

Restricciones:

- Ubicación geográfica alejada de las necesidades de las principales áreas productivas.

3.4.5. ENTRE RÍOS

En la provincia de Entre Ríos existen acumulaciones de calcáreos de origen orgánico, pertenecientes a la Formación Paraná (ingresión marina del paranaense, del Mioceno medio - Plioceno medio). Se trata de un calcáreo fosilífero constituido por restos de conchillas y valvas de moluscos marinos. En ocasiones se encuentran cementados por materiales provenientes de su propia disolución, junto con sílice y arcillas. Se los denomina en general "bancos ostreros", con espesores variables que pueden alcanzar 6 metros, aunque su promedio es de 1 metro, y gran discontinuidad areal.

Los depósitos de conchillas de la Formación Talavera (Holoceno) -equivalente a la Formación La Plata o platense marino aflorante en la costa bonaerense- corresponden a la ingresión querandinense. El cordón de conchillas se extiende en la región deltaica, desde Gualeguaychú, conformando un arco que pasa por el

arroyo Nancay, Médanos y al oeste de Puerto Ruiz.

Los depósitos de la provincia de Entre Ríos se ubican en los departamentos Colón, Concepción del Uruguay, Gualeguaychú, Islas del Ibicuy, Rosario de Tala, Victoria y Diamante; en el departamento Paraná las reservas explotables se consideran agotadas (el horizonte calcáreo yace a varias decenas de metros de profundidad). En épocas de producción el material de buena calidad era separado mecánicamente (conchillas de arcillas), zarandeado, molido, secado y embolsado.

La calidad del calcáreo es muy variable, según las características de las acumulaciones. La principal impureza es el contenido de sílice, inferior a 1 % en los mejores materiales molidos y de hasta 30 % SiO_2 *in situ*. El tenor de CaO puede alcanzar 54 % en materiales seleccionados, mientras que *in situ* se reconocen tenores de 30 a 50 % CaO.

En la tabla 18 se observa la producción de conchilla de la provincia de Entre Ríos durante los años 2000 y 2001.

Potencial de uso agrícola de los yacimientos de Entre Ríos:

Ventajas:

- Cercanía geográfica a las zonas con mayores necesidades de calcio.

Restricciones:

- Canteras inactivas (algunas agotadas)
- Reservas no desarrolladas
- Regular calidad.

3.4.6. PATAGONIA

Las excesivas distancias entre los depósitos de rocas carbonáticas de las provincias de Río Negro y Chubut y las principales áreas de cultivo de la Argentina impiden considerar la provisión desde dichas provincias, con excepción de necesidades locales. Las principales características geológico-mineras de los yacimientos de rocas carbonáticas cálcicas (calizas) y cálcico-magnesianas (dolomías) de la Patagonia se exponen en la Ficha de depósitos N° 12.

PROVINCIA	2000	2001
Entre Ríos	72.000	16.000

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 18. Producción de conchilla de Entre Ríos (en t) durante los años 2000 y 2001

FICHA N° 5 DEPÓSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS CÁLCICAS DE LA REGIÓN CENTRAL												
IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN			RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O			Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización	
Maimará	Cantera Maimará, Cantera Adriana, Cantera Silvia, Cantera Eliseo	Jujuy	En los alrededores de Tilcara y a 74 km al N de S. S. de Jujuy	23° 37'	65° 24'	35.000 t	CaCO ₃ : 84,9-87,2 %	Sedimentario, estratiforme	Banco de calizas oolíticas de 0,8 a 1,4 m de espesor entre mantos de areniscas calcáreas	F. Yacoraite: calizas oolíticas y estromatolíticas, areniscas calcáreas	Cretácico superior	Schalamuk <i>et al.</i> (1983)
Volcán	Cantera Volcán (Bárcena)	Jujuy	En la sierra de Tilcara: 40 km al N de Sn Salvador de Jujuy	23° 57'	65° 26'	70 Mt (inferidos)	CaCO ₃ : 95,1% MgCO ₃ : 1,2%	Metamórfico, estratiforme	Cuerpos irregulares, deformados de hasta 300 m de espesor	F. Volcán: calizas metamórficas (inértiles y microesparitas) entre esquistos amarillentos y areniscas calcáreas	Precámbrico	Schalamuk <i>et al.</i> (1983)
	Ben Hur	Catamarca	Sierra de Ancasti, 18 km al NE de Frijas	25° 37'	65° 19'	4,3 Mt	CaCO ₃ : 65,1 - 79% MgCO ₃ : 0,9 - 3,7%	Metamórfico, estratiforme	Cuerpos de calizas cristalinas calcáreas, de centenares de metros de corrida, 100 m de ancho y 50 a 60 m de potencia; inclinación hasta 80°. Formados por bancos de mármol de hasta 2 m de espesor intercalados con esquistos	F. Sierra Brava: mármol, gneises y esquistos micáceos intruidos por diques graníticos	Precámbrico superior	Schalamuk <i>et al.</i> (1983)
	El Aseradero, El Cajón, El Naranjo, Río Nío, Villa Padre Monti, El Nogalito, Los Chorrillos, otros	Tucumán	Extremo NE de la provincia. Sierras de La Ramada, del Campo y Medina	26° 38'	64° 56'	18,9 Mt (reservas estimadas y considerando todas las canteras)	CaCO ₃ : 85 % (promedio para las canteras de sierra de La Ramada)	Sedimentario, estratiforme	Cuerpos tabulares de calizas oolíticas de 1,1 a 2,2 m de espesor entre depósitos detríticos de grano fino	F. Río Salí: secuencia continental de pelitas, limolitas, arcillitas, yeso, calizas oolíticas y areniscas	Mioceno Plioceno	Ávila <i>et al.</i> (1999); Schalamuk <i>et al.</i> (1983)
	Peñas Azules	Tucumán	Cumbres Calchaquies, 50 km NNO de San Miguel de Tucumán	26° 39'	65° 40'	15,6 Mt (medidos)	CaCO ₃ : 87-92 %	Metamórfico, estratiforme	Cuerpos de calizas cristalinas de grano grueso a fino, color blanco y gris y de espesores variables (2 a 190 metros)	F. Peñas Azules esquistos, micacitas, mármol, intruidos por filones graníticos y pegmatíticos	Precámbrico - Eocámbrico	Ávila <i>et al.</i> (1999); Suayter y Urdaneta (1979); Suayter <i>et al.</i> (1987)
	Ojo de Agua	Catamarca	Sierra de Ancasti, a 5 km al SO de Icaño	28° 58'	65° 24'	2,34 Mt	CaCO ₃ : 95,9% MgCO ₃ : 2,7%	Metamórfico, mantiforme	Manto de caliza cristalina calcácea, blanco a gris, de 150 m de largo y 60 m de potencia	F. Sierra Brava: mármol, gneises y esquistos micáceos intruidos por diques graníticos	Precámbrico - Eocámbrico	Schalamuk <i>et al.</i> (1983)

DEPÓSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS CÁLCICAS DE LA REGIÓN CENTRAL													
IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN				RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA			REFERENCIAS	
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O				Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización	
Las Peñas	La Esperanza o El Porvenir	Catamarca	Sierra de Ancasti, 32 km al SO de Esquíu	29° 33'	65° 34'	1,83 Mt	CaCO ₃ : 86,8-96% MgCO ₃ : 0,5-5,5%	Apto, con control químico	Metamórfico, maniforme	Varios cuerpos de mármol calcítico compuesto por bancos de 0,5 a 1 m de espesor entre esquistos; grano medio a grueso y tonalidades claras	F. Sierra Brava: migmatitas y gneises	Precámbrico - Eocámbrico	Schalamuk et al. (1983)
Quilpo	Canteras Quilpo	Córdoba	28 km al SE de Cruz del Eje	30° 49'	64° 43'	70,97 Mt (totales)	Variables	Apto, con control químico	Metamórfico	Cuerpos de mármol calcítico de formas tabulares a lenticulares, longitudes > 1.500 m	Mármol, gneis	Precámbrico- Eocámbrico	Sfragulla et al (1999)
Pampa de los Guanacos	Pampa de los Guanacos	Córdoba	14 km al O de Capilla del Monte	30° 50'	64° 37'	100.000 t (Cantera Rapagnani)	Variables	Apto, con control químico	Metamórfico	Pequeños bancos de mármoles calcíticos de colores claros	Gneis, anateixitas	Precámbrico- Eocámbrico	Sfragulla et al (1999)
Carapé	El Carapé, Candonga,	Córdoba	18 km al O de La Cumbre	31° 01'	64° 22'	Carapé Oeste: 10 Mt, Carapé Este: 24,8 Mt	Variables	Apto, con control químico	Metamórfico	Dos cuerpos principales: Carapé oeste con mármol dolomítico y Carapé este de mármol calcítico. Tienen entre 2 y 5 km de corrida y 400 a 500 m de ancho.	Complejo metamórfico- plutónico con gneises, anfibolitas y mármoles asociados a rocas plutónicas	Precámbrico- Eocámbrico	Sfragulla et al (1999)
Candelaria- Characato	Cantera Iguazú	Córdoba	Entre Candelaria y Characato, al O de Valle Hermoso	31° 05'	64° 50'	3 Mt (inferidos)	Variables	Apto, con control químico	Metamórfico	Cuerpos de mármol con tendencia calcololomítica	Complejo metamórfico Candelaria: esquistos, gneises	Precámbrico- Eocámbrico	Sfragulla et al (1999)
Campo de la Fundación San Roque	Canteras Ilgam, La Argentina, Los Arroyos y otras	Córdoba	Pampa de Olaen	31° 12'	64° 35'	4 Mt aprox. para 23 canteras (inferidos)	CaCO ₃ : 90% MgO: <1,5% Ins.: 2-8%	Apto, con control químico	Metamórfico	Cuerpos tabulares de mármol calcítico subhorizontales a 45°. Variedad cromática	Gneis, anateixitas, granulitas, anfibolitas	Precámbrico- Eocámbrico	Sfragulla et al (1999)
La Calera	Dumesnil o Cantera Crespo	Córdoba	Flanco E de Sierra Chica, entre Córdoba y Unquillo	31° 24'	64° 19'	70 Mt (inferidos)	Variables	Apto, con control químico	Metamórfico	Mármol calcítico de grano fino y color blanco	Complejo Metamórfico Sa Chica: gneises, anateixitas, granulitas y anfibolitas	Precámbrico- Eocámbrico	Sfragulla et al (1999)
Yocsina- Malagueño	Yocsina	Córdoba	20 km al O de Córdoba	31° 29'	64° 25'	10 Mt (inferidos)	CaCO ₃ : 86% MgCO ₃ : 4%	Apto, con control químico	Metamórfico	Cuerpo de mármol calcítico interestratificado con gneises y anfibolitas	Complejo Metamórfico Sierra Chica: gneises, anateixitas, granulitas y anfibolitas	Precámbrico- Eocámbrico	Sfragulla et al (1999)

Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O	RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	PARA USO AGRÍCOLA	Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización	R
Yocina- Malagueño	Malagueño	Córdoba	21 km al O de Córdoba	31° 32'	64° 25'	50 Mt (inferidos)	CaCO ₃ : 85%	Apto, con control químico	Metamórfico	El cuerpo de mármol calcítico principal es de 4 km de largo, 400 a 700 m de ancho e inclina entre 60° y 70° al E. Grano medio y tonalidad blanca a gris	Complejo Metamórfico Sa Sierra Chica: gneises, anateixitas, granulitas y anfibolitas	Precámbrico- Eocámbrico	
Valle de Buena Esperanza	Cerro Moro y otras	Córdoba	Al NO de Alta Gracia, en el flanco oriental de la Sierra Chica	31° 38'	64° 29'	1,27 Mt	CaCO ₃ : 58% MgCO ₃ : 26%	Apto, con control químico	Metamórfico	Cuerpos de mármol calcítico, plegados, con altos ángulos de buzamiento	Complejo Metamórfico Sa Chica: gneises inyectados, biotíticos, granatíferos, anfibolitas.	Precámbrico- Eocámbrico	
La Fronda	La Fronda	Córdoba	15 km al S de San Marcos Sierra	31° 52'	65° 41'	3,82 Mt	MgO: <2,5% Ins: hasta 30%	Apto, con control químico	Metamórfico	Cuerpos muy deformados de mármol calcítico color gris y grano medio.	Gneis y anfibolitas	Precámbrico- Eocámbrico	
	Cerro Impuro I y II	San Luis	Sierra de El Gigante; 70 km al NO de San Luis	32° 53'	66° 56'	58,5 Mt (visible- probable del distrito)	CaCO ₃ : 80-96% MgCO ₃ : 1-11%	Apto, con control químico	Metamórfica	Cuerpos de mármol con calcita de grano fino y vetillas de calcita pura	Micacitas, esquistos, cuarcitas y mármol	Precámbrico - Paleozoico	I
	Cerro Redondo	San Luis	Sierra de El Gigante; 70 km al NO de San Luis	32° 55'	66° 56'	58,5 Mt (visible- probable del distrito)	CaCO ₃ : 80-96% MgCO ₃ : 1-11%	Apto, con control químico	Metamórfica	Cuerpos de mármol calcítico de grano fino y vetillas de calcita pura	Micacitas, esquistos, cuarcitas y mármol	Precámbrico - Paleozoico	I

FICHA N° 6 DEPÓSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS MAGNESIANAS DE LA REGIÓN CENTRAL													
IDENTIFICACIÓN			UBICACIÓN			RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O				Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización	
	Albigasta	Catamarca	Sierra de Ancasti, 25 km de Frías	25° 37'	65° 19'	100 Mt	CaCO ₃ : 78 - 81% MgCO ₃ : 0,5-7,3%	Apto, con control químico	Metamórfico, estratiforme	Calizas cristalinas magnesianas, blancas a grises, lenticulares, 50 a 4.000 m de largo y 30 a 100 m de potencia	F. Sierra Brava: mármol, gneises y esquistos micáceos intruidos por diques graníticos	Precámbrico superior	Schalamuk <i>et al.</i> (1983)
	Esquíu	Catamarca	Sierra de Ancasti	29° 20'	65° 26'	3,12 Mt	CaCO ₃ : 62,3-94,3% MgCO ₃ : 4,4-35,6%	Apto, con control químico	Metamórfico, mantiforme	Mármol dolomítico en bancos tabulares y lenticulares	F. Sierra Brava: anfibolitas y mármoles	Precámbrico - Eocámbrico	Schalamuk <i>et al.</i> (1983)
	Esquíu	Catamarca	Sierra de Ancasti	29° 20'	65° 26'	1,27 Mt	CaCO ₃ : 55,7-60,1% MgCO ₃ : 20,7-39,4%	Apto, con control químico	Metamórfico, mantiforme	Mármol dolomítico en bancos tabulares y lenticulares	F. Sierra Brava: gneises, esquistos y anfibolitas	Precámbrico - Eocámbrico	Schalamuk <i>et al.</i> (1983)
	Carapé	Córdoba	18 km al O de La Cumbre	31° 01'	64° 22'	Carapé Oeste: 10 Mt, Carapé Este: 24,8 Mt	Variables	Apto, con control químico	Metamórfico	Dos cuerpos principales: Carapé O con mármol dolomítico y Carapé E con mármol calcítico. 2 a 5 km de corrida y 400 a 500 m de ancho.	Complejo metamórfico-plutónico con gneises, anfibolitas y mármoles asociados a rocas plutónicas	Precámbrico-Eocámbrico	Sfragulla <i>et al</i> (1999)
	San Agustín	Córdoba	4 km al O de San Agustín	31° 58'	64° 24'	10 Mt aprox. (inferidos)	MgO: 14-21% Ins: 2-8%	Apto, con control químico	Metamórfico	Mármol dolomítico Cuerpo principal de 2,5 km de largo y ancho máximo de 600 m. Variedad cromática y de tamaño de grano	Complejo Metamórfico Sierra Chica: gneises biotíticos y granatíferos	Precámbrico-Eocámbrico	Sfragulla <i>et al</i> (1999)
	Falda del Carmen-Lagunilla	Córdoba	En Punta del Agua a 15 km al N de Alta Gracia	31° 37'	64° 23'	50.000 t	MgO: hasta 18%	Apto, con control químico	Metamórfico	Bancos de mármol dolomítico con alto buzamientos; variedad granulométrica	Complejo Metamórfico Sa Chica: gneises inyectados, anfibolitas.	Precámbrico-Eocámbrico	Sfragulla <i>et al</i> (1999)
	Sierra de Socosora	San Luis	6 km al NO de San Francisco del Monte de Oro	32° 34'	66° 10'	Sin datos	CaO: 29,85%, MgO: 17,00%, Fe ₂ O ₃ : 6,96%, Al ₂ O ₃ : 0,86%, CaCO ₃ : 52,30%, MgCO ₃ : 35,30%	Apto, con control químico	Metamórfico	Bancos y bolsones de mármol dolomítico de 900 m y 200 m de largo y 2,5 m y 54 m de potencia, respectivamente	Gneis, dolomitas serpentinizadas	Precámbrico - Paleozoico	Beninato (1999)
	Cañada Grande	San Luis	Sierra de La Estanduela;	32° 56'	65° 17'	8,5 Mt (estimadas para la Sierra de La Estanduela)	CaCO ₃ : 50-75% MgCO ₃ : 25-45% SiO ₂ : 6-13%	Apto, con control químico	Metamórfica	5 bancos dolomíticos de 1.600 m de corrida, blancos grisáceos, grano medio, i: 50° E	Esquistos, mármoles, anfibolitas y gneises	Precámbrico - Paleozoico	Beninato (1999)
	La Marmolina I y II	San Luis	Sierra de La Estanduela;	32° 57'	65° 07'	8,5 Mt (estimadas para La Estanduela)	MgO: 15-20% (ley media)	Apto, con control químico	Metamórfica	Conjunto de bancos dolomíticos entre esquistos	Esquistos, mármoles, anfibolitas y gneises	Precámbrico superior - Paleozoico inferior	Beninato (1999)

Schalamuk *et al.*
(1983)Schalamuk *et al.*
(1983)Schalamuk *et al.*
(1983)Sfragulla *et al.*
(1999)Sfragulla *et al.*
(1999)Sfragulla *et al.*
(1999)

Beninato (1999)

Beninato (1999)

Beninato (1999)

FICHA N° 7 DEPÓSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS CÁLCICAS DE BUENOS AIRES												
IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN				RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA			REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O				Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	
	Loma Negra La Providencia	Buenos Aires	Próximo a la ciudad de Olavarría	37° 00'	60° 20'	Sin datos	CaCO ₃ : 81,40%	Apto, con control químico	Cuerpos tabulares de calizas de hasta 40 m de espesor, color negro a pardo rojizo	F. Loma Negra: Calizas micríticas y subespáticas con menos de 1% de limo	Precámbrico superior	Angelielli (1975); Dominguez y Schalamuk (1999)

FICHA N° 8 DEPÓSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS MAGNESIANAS DE BUENOS AIRES														
IDENTIFICACIÓN			UBICACIÓN					RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA			REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O	Tipo de depósito	Morfología				Litología del entorno	Edad de la mineralización		
	Cantera Sierras Bayas	Buenos Aires	Cercanías de Olavarría	36° 52'	60° 10'	300.000 t	CaCO ₃ : 30 % MgO: 20 %	Apto	Sedimentario	Cuerpos dolomíticos de hasta 30 m de potencia, color castaño claro	F. Villa Mónica: bancos dolomíticos intercalados entre cuarcitas y pelitas	Angelilli (1975); Dominguez y Schalamuk (1999)		

FICHA N° 9 DEPOSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS CÁLCICAS DE PRECORDILLERA													
IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN			RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS	
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S				Longitud O	Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno		Edad de la mineralización
Jáchal	Sierra de San Roque; Carrizo, La Chilca, Domínguez, La Legua, otras	San Juan	Precordillera Central, en los alrededores de Jáchal	30° 17'	68° 43'	107 Mt (totales)	CaCO3 : 98,6 %	Apto	Sedimentario, estratiforme	Mantos de calizas	F. San Juan: calizas lajosas y margas	Ordovícico inf	Herrmann y Menoyo (1999); Furqué <i>et al</i> (1999)
Jáchal	El Refugio (Pan de Azúcar)	San Juan	Precordillera Central, en los alrededores de Jáchal	30° 18'	68° 44'	35,31Mt	CaO: 55,2 % (estratiforme), CaCO3 : 97 % (detrítico)	Apto	Sedimentario, estratiforme y en acumulación de detritos	Mantos de calizas estratiformes y depósitos detríticos	F. San Juan: calizas lajosas y margas.	Ordovícico inf	Herrmann y Menoyo (1999)
Jáchal	Niquivil Viejo (Cerro La Silla)	San Juan	Precordillera Central, en los alrededores de Jáchal	30° 24'	68° 38'	8 Mt (inferidos)	CaCO3: 98 %	Apto	Sedimentario, estratiforme	Mantos de calizas	F. San Juan: calizas lajosas y margas	Ordovícico inf	Herrmann y Menoyo (1999)
Sierra de Villicum	El Volcán	San Juan	35 km al N de San Juan	31° 21'	68° 31'	1,5 Mt (aseguradas) 3 Mt (inferidas)	CaCO3 : 97 %	Apto	Sedimentario	Bancos de calizas de 0,5 a 1 m de espesor, grano muy fino, color gris y abundantes venas de calcíta	F. La Laja: calizas negras, también oolíticas con niveles de margas y cuarcitas	Cámbrico inf a medio	Herrmann y Menoyo (1999)
Sierra Chica de Zonda	Baños de la Salud, Campo Sarmiento	San Juan	24 km al SO de San Juan, ladera E de la Sierra Chica de Zonda	31° 55'	68° 41'	5 Mt (inferidos + indicados)	CaO: 54 % MgO: <8% SiO2: 0,6 - 1%	Apto	Sedimentario	Manto de 10 a 12 m de espesor con niveles de calizas de 0,3 a 1 m de potencia.	F. San Juan: calizas lajosas y margas	Ordovícico inf	Herrmann y Menoyo (1999)
	San Jorge-El Rincón	San Juan	Ladera NE del cerro El Rincón; 5 Km al SO de Los Berros	32° 01'	68° 44'	2,5 Mt (aseguradas)	CaO: 54% SiO2: 0,9-1,5%	Apto	Sedimentario	Calizas oscuras de textura sacaroide, se presenta en bancos de 20 a 70 cm de espesor	F. San Juan: calizas con intercalaciones de venas de calcita	Ordovícico inf	Herrmann y Menoyo (1999)
	Salagasta	Mendoza	35 km al N de Mendoza	32° 33'	68° 50'	6 Mt (totales)	CaO: 53,8 %, MgO: 0,8 %, SiO2: 1-6 %	Apto	Estratiforme	Dos horizontes de calizas de grano fino, compacta y textura sacaroide, se silicificados	F. San Juan: calizas, margas, chert	Ordovícico inf	Herrmann y Menoyo (1999)
	Cerro La Cal	Mendoza	18 km al N de Mendoza	32° 44'	68° 52'	3 Mt	CaO: 53,5-55 %, SiO2: 1,7-2,2 %	Apto	Sedimentario	Bancos de calizas de grano fino, compacta y textura sacaroide; 20 a 50 cm de espesor, i: 50° E	F. San Juan: calizas, margas, chert	Ordovícico inf	Herrmann y Menoyo (1999)
	Cerro Blanco	Mendoza	18 km al N de Mendoza	32° 45'	68° 52'	Sin datos	SiO2: 0,5-22 %	Apto	Sedimentario	Bancos de calizas de grano fino, grises, con intercalaciones de flanita, a veces abundantes	F. San Juan: calizas, margas, chert	Ordovícico inf	Herrmann y Menoyo (1999)

FICHA N° 10 DEPÓSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS MAGNESIANAS DE PRECORDILLERA														
IDENTIFICACIÓN			UBICACIÓN				RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRICOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O	Tipo de depósito				Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización		
Jáchal	El Fuerte	San Juan	Precordillera Central, en los alrededores de Jáchal	30° 21'	68° 38'	485.675 t (demostrados)	CaO: 33,3%, MgO: 16%, SiO2: 2,7%	Apto	Sedimentario, estratiforme	Fajas de calizas dolomíticas y bancos dolomíticos intercalados	F. Zonda: calizas dolomíticas y dolomías	Cámbrico superior	Herrmann y Menoyo (1999)	
Sierra de Villicum	El Volcán-Villicum	San Juan	Ladera SE del extremo austral de la sierra de Villicum; 35 km al N de San Juan	31° 23'	68° 35'	22,75Mt (medidos), 13Mt (indicados + inferidos)	MgO: 18,5%, CaO: 32,53%, SiO2 : 2,3%	Apto	Sedimentario	Bancos dolomíticos homogéneos y uniformes, de grano muy fino, espesor entre 0,6 y 1,5 m	F. Zonda: dolomías y calizas dolomíticas	Cámbrico superior	Herrmann y Menoyo (1999)	

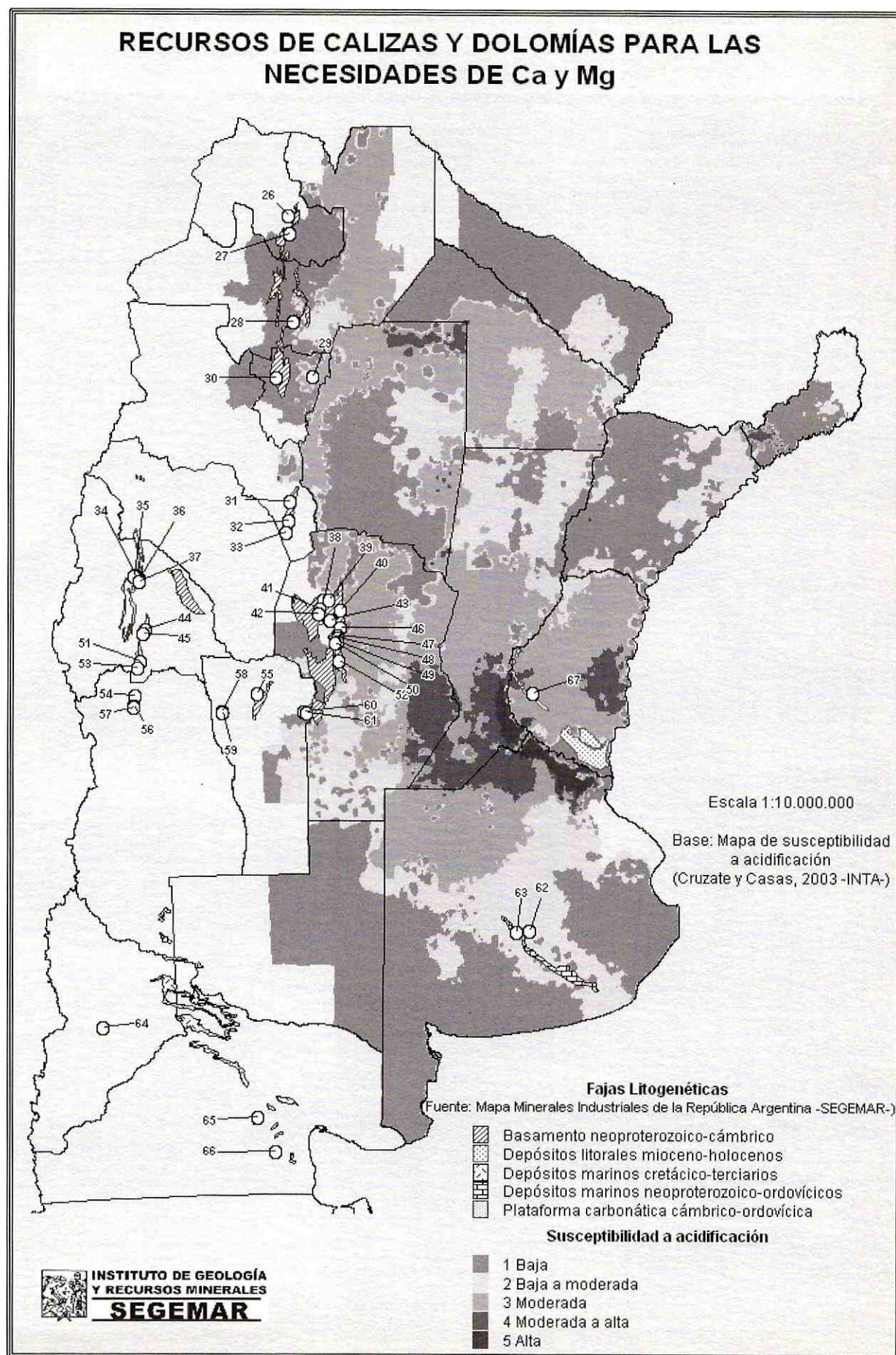
FICHA N° 11 DEPÓSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS CÁLCICAS DE LA CUENCA NEUQUINA												
IDENTIFICACIÓN			UBICACIÓN			RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRICOLA	GEOLOGÍA			REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O				Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	
	Vaca Muerta	Neuquén	En la sierra de Vaca Muerta, 28 km al NE de Zapala	38° 41'	70° 00'	Medidos: 18,4 Mt	CaCO ₃ : 76,6-98,2%	Apto	Sedimentario	Cuerpo tabular de calizas litográficas con intercalaciones de niveles de aragonita apoyadas en lutitas bituminosas y cubiertas por margas y areniscas	Jurásico superior	Angelelli <i>et al</i> (1976)

FICHA Nº 12 DEPÓSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS CÁLCICAS DE PATAGONIA													
IDENTIFICACIÓN			UBICACIÓN			RECURSOS/ RESERVAS	LEYES	POTENCIAL PARA USO AGRICOLA	GEOLOGÍA				REFERENCIAS
Distrito	Yacimiento	Provincia	Área	Latitud S	Longitud O				Tipo de depósito	Morfología	Litología del entorno	Edad de la mineralización	
Sierra Grande	Cantera Paillemán	Río Negro	1,5 km al NNO del poblado Sierra Paillemán	41° 10'	65° 57'	3 Mt (medidos); 1,5 Mt (inferidos)	CaCO ₃ : 90,85% (ley media)	Apto, con control químico	Metamórfico	Varios cuerpos de mármol, alternados con esquistos; 450 m de largo; 36 m espesor máximo, i: 45° a 56° NE	F. El Jagüelito: mármol, esquistos cálcicos y esquistos intruidos por plutonitas	Precámbrico-Paleozoico	Espejo (1999)
	La Alicia	Chubut	70 km al SE de Trelew	43° 26'	66° 00'	Sin datos	CaCO ₃ : 73,1% MgO: 0,3%	Apto, con control químico	Sedimentario	Cuerpo de caliza organógena de 2 a 3 m de espesor, color amarillo a rosado	F. Salamanca: calizas, areniscas y areniscas arcillosas	Cretácico superior-Terciario inferior	Angelelli <i>et al</i> (1976)
	Las Chapas	Chubut	110 km al SO de Trelew	43° 40'	63° 28'	8,6 Mt (total)	CaCO ₃ : 85,1 -98,1%	Apto, con control químico	Sedimentario	Varios cuerpos de calizas tabulares, subhorizontales, espesores entre 1 y 6 m. Niveles de caliza blanca, grano fino, textura sacaroide y bancos de coquinas	F. Salamanca: calizas organógenas y areniscas	Cretácico superior-Terciario inferior	Angelelli <i>et al</i> (1976)
	La Esther, El Alamo, Cantera II, Piedras Blancas	Chubut	25 km al SO de Bahía Bustamante	45° 00'	66° 25'	La Esther: 136 Mt (aseguradas) y 81 Mt (probables)	CaCO ₃ : 93,1% MgO: <0,8%	Apto, con control químico	Sedimentario	Caliza organógena, bancos de estructura masiva y porosa, cemento de carbonato de calcio, color blanco, potencia media: 9,6 m	F. Salamanca: arcilla gris, areniscas pardas, areniscas de grano fino y calizas	Cretácico superior-Terciario inferior	Angelelli <i>et al</i> (1976)
	Sierra Chaira	Chubut	118 km al NO de Comodoro Rivadavia	45° 05'	68° 15'	740.000 t (medidos) 800.000 t (inferidos)	CaCO ₃ : 80-85 %	Apto, con control químico	Sedimentario	Manto de caliza organógena color gris claro, el material presenta una matriz arcillosa y tiene una potencia de 1,5 m	F. Salamanca: calizas organógenas y areniscas	Cretácico superior-Terciario inferior	Angelelli <i>et al</i> (1976)
	El Tablón Cantera 1 y 2	Chubut	20 km al NNE de Bahía Bustamante	45° 08'	66° 45'	838.000 t (aforante) 1,29 Mt (cubierto)	CaCO ₃ : 93,3% MgO: 0,41%	Apto, con control químico	Sedimentario	Banco de caliza organógena, horizontal, seccionado en varias partes, espesor medio: 5 m. Color blanco. Cemento de calcita	F. Salamanca: calizas organógenas y areniscas	Cretácico superior-Terciario inferior	Angelelli <i>et al</i> (1976)

DEPÓSITOS DE ROCAS CARBONÁTICAS MAGNESIANAS DE PATAGONIA							
Valcheta	Gisella	Río Negro	11,5 km al ENE de Valcheta	40° 35'	66° 28'	CaCO ₃ : 52,9 %; MgCO ₃ : 39,02%	Espejo (1999)
						288.000 t	
						Apto	
						Sedimentario	
						Cuerpo tabular de dolomía; 60 m de largo, 30 m de ancho y 1,5 m de espesor	
						F. Arroyo Barbudo: arcillas, limos, areniscas finas, margas y calizas-dolomías	
						Cretácico superior-Terciario	

Yacimientos de calizas y dolomías

Número	Latitud	Longitud	Sustancia	Yacimiento
26	23° 37'	65° 24'	Caliza	Canteras Maimará, Adriana, Silvia, Eliseo
27	23° 57'	65° 22'	Mármol cálcico	Cantera Volcán (Bárcena)
28	25° 37'	65° 19'	Mármol cálcico	La Calera, Ben Hur
29	26° 37'	64° 55'	Mármol cálcico	El Aserradero, El Cajón, El Naranjo, Río Nío, Villa Padre Monti
30	26° 39'	65° 40'	Caliza	Peñas Azules
31	28° 58'	65° 24'	Mármol cálcico	Ojo de Agua
32	29° 19'	65° 25'	Mármol cálcico	El Cerrito (El Morro, Esquiú)
33	29° 33'	65° 29'	Mármol cálcico	La Esperanza o El Porvenir
34	30° 16'	68° 43'	Caliza	Sierra de San Roque
35	30° 18'	68° 43'	Caliza	El Refugio (Pan de Azúcar)
36	30° 21'	68° 37'	Dolomía	El Fuerte
37	30° 24'	68° 37'	Caliza	Niquivil Viejo (Cerro La Silla)
38	30° 49'	64° 43'	Mármol cálcico	Canteras Quilpo
39	30° 49'	64° 37'	Mármol cálcico	Pampa de los Guanacos
40	31° 01'	64° 22'	Mármol cálcico	El Carapé, Candonga
41	30° 59'	64° 48'	Mármol cálcico	La Fronda
42	31° 04'	64° 49'	Mármol cálcico	Cantera Iguazú
43	31° 12'	64° 34'	Mármol cálcico	Canteras Iggam, La Argentina, Los Arroyos y otras
44	31° 19'	68° 32'	Caliza-dolomía	El Volcán
45	31° 22'	68° 34'	Dolomía	El Volcán, Villicum
46	31° 20'	64° 21'	Mármol cálcico	Dumesnil o Cantera Crespo
47	31° 28'	64° 25'	Mármol cálcico	Yocsina
48	31° 31'	64° 25'	Mármol cálcico	Malagueño
49	31° 36'	64° 25'	Mármol cálcico	Cantera Tobías
50	31° 37'	64° 28'	Mármol cálcico	Cerro Moro y otras
51	31° 55'	68° 40'	Caliza	Baños de la Salud, Campo Sarmiento
52	31° 58'	64° 24'	Mármol cálcico-magnesiano	San Agustín
53	32° 01'	68° 43'	Caliza	El Rincón
54	32° 33'	68° 49'	Caliza	Salagasta
55	32° 34'	66° 10'	Dolomía	Sierra de Socosora
56	32° 43'	68° 52'	Caliza	Cerro La Cal
57	32° 45'	68° 52'	Caliza	Cerro Blanco
58	32° 52'	66° 55'	Mármol cálcico	Cerro Impuro I y II
59	32° 55'	66° 55'	Mármol cálcico	Cerro Redondo
60	32° 55'	65° 08'	Dolomía	Cañada Grande
61	32° 57'	65° 07'	Dolomía	La Marmolina I y II
62	36° 57'	60° 03'	Dolomía	Cantera Sierras Bayas
63	37° 00'	60° 19'	Caliza	Loma Negra -La Providencia
64	38° 43'	69° 56'	Caliza	Vaca Muerta
65	40° 31'	66° 21'	Caliza-dolomía	Gisela
66	41° 10'	65° 57'	Mármol cálcico-magnesiano	Cantera Pailemán
67	32° 30'	60° 12'	Conchilla	Canteras La Argentina y Centenario



REGIONES CON YACIMIENTOS DE Ca y Ca-Mg DE LA ARGENTINA

REGIÓN CENTRAL

Características	<ul style="list-style-type: none"> •Córdoba, San Luis y Catamarca: cuerpos de mármol tabulares y/o lenticulares, deformados, concordantes con las estructuras de las metamorfitas. Jujuy: calizas masivas, oolíticas y areniscas calcáreas en una secuencia de hasta 10 metros de espesor e importante extensión areal, con bancos calizos de hasta 1,5 metros de potencia. Tucumán: calizas oolíticas en bancos de hasta 2,2 metros de potencia interestratificados con pelitas y arcillitas.
	<ul style="list-style-type: none"> •Calidad <i>Mármoles:</i> cálcicos (entre 30 y 52% CaO y 0 a 11% MgO), magnesianos (entre 30 y 35% CaO y 13 a 21% MgO) y cálcico-magnesianos (entre 30 y 35% CaO y 11 a 13% MgO), con contenido de insolubles variable entre 0 y 20%. <i>Calizas:</i> 44 a 49% CaO y 0 a 5% MgO (prov. de Jujuy); 52 % CaO (prov. de Tucumán). •Explotación: grandes canteras. •Usos: cemento, cal para construcción, ornamental, otras industrias. •Potencial de uso agrícola <i>Ventajas:</i> importantes reservas, canteras desarrolladas y activas, ubicación geográfica (fundamentalmente sur de la provincia de Córdoba) <i>Restricciones:</i> alto contenido de insolubles en algunos depósitos.
Geología	<ul style="list-style-type: none"> •Mármoles del basamento metamórfico de Sierras Pampeanas (San Luis, Córdoba y Catamarca) y Cordillera Oriental (Salta y Jujuy). Calizas de la Fm Yacoraite (Cretácico sup.-Paleoceno) en Jujuy y calizas de la Fm Río Salí (Mioceno) en Tucumán. •Modelo de depósito: Rocas metamórficas y Depósitos sedimentarios. •Faja litogenética: Basamento precámbrico-cámbrico y Depósitos de cuenca neógenos
Principales yacimientos: Distritos Cañada de Álvarez, San Agustín, Malagueño, Bosque Alegre, Alta Gracia y otros (provincia de Córdoba). Distritos Sierra del Gigante, Sierra de la Estanzuela y otros (provincia de San Luis). Distrito Sierra de Ancasti (provincia de Catamarca). Zona de León-Volcán (provincia de Jujuy). Sierra de La Ramada (provincia de Tucumán). Producción: San Luis: 400.000 t anuales. Jujuy: 600.000 t anuales. Córdoba: muy variable, de cientos de miles a >1 Mt anuales. Catamarca: 700.000 t anuales.	

PRECORDILLERA

Características	<ul style="list-style-type: none"> •Bancos de gran homogeneidad y continuidad areal. Depósitos tabulares, poco deformados, de gran espesor. •Calidad: a) Calizas: 50 a 55% CaO, 2% MgO y <3% SiO₂. b) Dolomías: 19 a 20% MgO, 30 a 32% CaO y <2% SiO₂. •Explotación: canteras, algunas muy bien desarrolladas. •Usos: cales para construcción e industriales, cemento.
	<ul style="list-style-type: none"> •Potencial de uso agrícola <i>Ventajas:</i> alta calidad, importantes reservas, canteras desarrolladas y activas, posibilidad de exportación a Chile. <i>Restricciones:</i> ubicación geográfica alejada de la región productiva nacional con necesidades.
Geología	<ul style="list-style-type: none"> •San Juan: calizas de las Formaciones La Laja (Cámbrico) y La Silla y San Juan (Ordovícico); dolomías de las formaciones Zonda y La Flecha (Cámbrico). Mendoza: calizas de la Formación San Juan. •Modelo de depósito: Depósitos sedimentarios. •Faja litogenética: Plataforma carbonática cámbrico-ordovícico
Principales yacimientos: Provincia de San Juan: a) Región de Jáchal: Sierra de San Roque y Ex El Refugio (caliza). b) Región de Sierra de Villacum – Albarcón: canteras de El Volcán, Minera TEA y otras (caliza, dolomía). c) Región al sur de San Juan: canteras San Rafael, San Jorge, El Rincón y otras (caliza). Provincia de Mendoza: Cerro La Cal y Salagasta.	
Producción: San Juan: 300.000 t (dolomías) y 1.300.000 t (calizas) anuales. Mendoza: 700.000 t (calizas) anuales.	

BUENOS AIRES

Características	<ul style="list-style-type: none"> •Calizas: estratos de hasta 40 m de espesor e importante extensión areal, formados de micrita y subesparita. Dolomías: estratos de hasta 30 metros de espesor, estructura laminar, estromatolítica; con cubierta cuarcítica. •Calidad: Calizas: 35 a 50% CaO, 0,2 a 2,8% Al₂O₃, 0,1 a 0,8% MgO, 0,4 a 2,7% Fe₂O₃, 8 a 11% SiO₂, 65 a 92% CaCO₃, 0,2 a 2% MgCO₃. Dolomías: 30 a 31,5% CaO, 18,5 a 20,5% MgO, <0,5% Al₂O₃, 0,7 a 2% Fe₂O₃, 1 a 12% SiO₂, 55,5% CaCO₃, 40 a 43% MgCO₃. •Explotación: canteras, algunas de gran desarrollo. •Usos: cemento, cales para construcción.
	<ul style="list-style-type: none"> •Potencial de uso agrícola <i>Ventajas:</i> canteras desarrolladas y activas, cercanía geográfica a las áreas con necesidades. <i>Restricciones:</i> reservas restringidas (dolomías) y asignadas a otros usos (calizas).
Geología	<ul style="list-style-type: none"> •Depósitos formados en ambiente marino de plataforma epicontinental durante el Neoproterozoico. Formación Loma Negra (caliza) y Formación Villa Mónica (dolomía). •Modelo de depósito: Depósitos sedimentarios. •Faja litogenética: Depósitos marinos del Precámbrico superior – Ordovícico.
Principales yacimientos: áreas de Barker, La Providencia y Sierras Bayas (calizas). Sierras Bayas (dolomías).	
Producción: Buenos Aires: 3 a 4,5 Mt (calizas) y 200.000 t (dolomías) anuales.	

CUENCA NEUQUINA

Características	<ul style="list-style-type: none"> •Mantos de calizas litográficas de entre 0,5 y 1,5 m de espesor intercaladas entre arcillas y margas (Pichi Moncol). Bancos de calizas detríticas fosilíferas de 0,2 a 1,6 m de espesor (Picún Leufú). Bancos de calizas formados por restos coralinos en parte silicificados, cubiertos por areniscas, en una faja de 6,5 km de largo, 2 km de ancho y espesor de hasta 30 m (Vaca Muerta). •Calidad: 42 a 55% CaO; 0,4 a 7% de MgO; 1 a 15% insolubles. •Explotación: canteras. •Usos: cales para construcción.
	<ul style="list-style-type: none"> •Potencial de uso agrícola <i>Ventajas:</i> posibilidad de exportación a Chile. <i>Restricciones:</i> ubicación geográfica alejada de las necesidades de las áreas productivas.
Geología	<ul style="list-style-type: none"> •Mantos de caliza de la Fm Vaca Muerta (Jurásico sup) y la Formación Picún Leufú (Jurásico superior-Cretácico). •Modelo de depósito: Depósitos sedimentarios. •Faja litogenética: Depósitos marinos jurásico-cretácicos
Principales yacimientos: zonas de Pichi Moncol, Picun Leufu y Vaca Muerta.	
Producción: 350.000 t anuales de calizas.	

ENTRE RÍOS

Características	<ul style="list-style-type: none"> •Acumulaciones de calcáreos de origen orgánico (conchillas) y niveles arenosos con valvas. Espesor variable de 1 m promedio y 6 m máximo; arealmente discontinuos. •Encape: aflorantes (arenas con valvas) o con sobrecargas de hasta 10 metros de espesor (bancos de conchillas). •Calidad: variable. Las de mejor calidad alcanzan 5% SiO₂, 51% CaO, 0,7% MgO. •Explotación: canteras.
	<ul style="list-style-type: none"> •Potencial de uso agrícola <i>Ventajas:</i> cercanía geográfica a las zonas con mayores necesidades de Ca. <i>Restricciones:</i> canteras inactivas (algunas agotadas); reservas no desarrolladas; calidad.
Geología	<ul style="list-style-type: none"> •Calcáreo fosilífero constituido por restos de conchillas valvas y caparazones de moluscos de ambiente marino. Formaciones Pueblo Brugo y Talavera. •Modelo de depósito: depósitos sedimentarios. •Faja litogenética: Depósitos litorales miocenos-holocenos
Principales yacimientos: en los departamentos entrerrianos de Victoria, Islas del Ibicuy y Gualaguaychú.	
Producción: muy variable y en continuo descenso (de 10.000 a 50.000 t anuales).	

CAPÍTULO IV

POTASIO

4.1. MINERALES QUE PROVEEN POTASIO: CLORURO DE POTASIO

El potasio puede obtenerse a partir de depósitos evaporíticos e incluso recuperarse del agua de mar. La principal sal de potasio es el mineral silvita (química-mente es ClK y posee 62 % de K_2O soluble en agua); de menor importancia son el K_2SO_4 (arcanita) y el $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ (langbeinita).

Los principales fertilizantes potásicos son el cloruro de potasio, el sulfato de potasio y el nitrato de potasio, cada uno de ellos con características particulares y aplicabilidad para distintas necesidades de suelos.

El ClK (mineral silvita) es la sal de potasio más utilizada en la agricultura, aunque en algunos cultivos la presencia de Cl es nociva. El K_2SO_4 tiene 48 % K_2O soluble en agua y es de acción más rápida; comercialmente se elabora tratando la silvita con ácido sulfúrico y es por lo tanto más caro que el ClK .

4.2. NECESIDAD DE APLICACIÓN DE POTASIO EN LOS SUELOS CULTIVABLES

Si bien no se cuenta con la distribución geográfica de las necesidades de este nutriente principal en el territorio argentino, los requerimientos son importantes ya que van de 20 a 33 kg por tonelada de grano (Cruzate y Casas, 2003, datos en tabla 19). Así, de acuerdo con datos del INTA, la campaña agrícola 2001/2002 extrajo 737.000 t de K de los principales suelos cultivados de la Argentina.

El potasio se aplica sólo en extensión limitada en la Argentina; suelos como los de la región pampeana en general tienen un contenido relativamente alto de potasio. El cloruro de potasio se utiliza, sobre todo en mezclas físicas, en cultivos de arroz y frutales. El nitrato de potasio se utiliza particularmente en horticultura, sea directamente, en mezclas o mediante fertirriego. El sulfato de potasio se aplica en los cultivos de tabaco.

Para cubrir estas necesidades nuestro país importa en su totalidad los fertilizantes en base a potasio. Los productos importados son complejos de NPK provenientes de Brasil, Uruguay y Estados Unidos, cloruro de potasio de Alemania y Canadá, sulfato de potasio de Alemania, sulfato de potasio y magnesio de Estados Unidos y

nitrato de potasio de Chile. Sin embargo, tanto si el déficit de K generado en los suelos se cubre con mezclas NPK, o con la aplicación directa de sales de potasio (cloruro, sulfato o nitrato), la Argentina cuenta con reservas probadas de la principal materia prima mineral para producirlos, como es el ClK , en yacimientos que muy posiblemente comiencen a producir en un futuro cercano, como se expone en el ítem 4.3. de este trabajo.

4.3. RECURSOS DE POTASIO EN LA ARGENTINA

En la Argentina los depósitos de potasio - ClK en niveles salinos ubicados a profundidad del orden de 1000 metros- se circunscriben al ámbito de la cuenca neuquina, en el sur de la provincia de Mendoza y norte de la provincia del Neuquén. Si bien hasta el momento actual no han sido explotados, constituyen un recurso cuya explotación, en un yacimiento de gran envergadura en el sur de Mendoza, se encuentra prácticamente factibilizada económicamente.

Los niveles con sales de potasio se encuentran localizados en subsuelo formando parte de la secuencia evaporítica de la cuenca neuquina. Estos niveles se reconocieron en el norte de la provincia del Neuquén y sur de la provincia de Mendoza, en un área de aproximadamente 4.000 km^2 . Su gran extensión ubica la cuenca entre las más importantes en el orden mundial. Por otra parte, es la única región del país con recursos de sales de potasio conocidos y económicamente explotables.

En la provincia de Mendoza, el proyecto de Potasio Río Colorado S.A. se encuentra actualmente prefactibilizado; para ello se contó con información de más de 14.000 metros perforados en 17 pozos, con 760 metros de testigos recuperados y 110 km de registros sísmicos. La mayoría de estas perforaciones se realizaron en la provincia de Mendoza y dos fueron realizadas dentro de la provincia del Neuquén.

Dentro de la cuenca, el estado neuquino se reservó un Área de Exclusividad de Interés Especial para la Exploración de Potasio que abarca 90.000 ha dentro de la provincia del Neuquén, inmediatamente al sur del río Barrancas (límite interprovincial con Mendoza), que a mediados de 2004 ofreció a la actividad privada mediante licitación.

	SOJA	TRIGO	MAIZ	GIRASOL	SORGO
Requerimiento de Ca (kg/t)	16,84	3,00	3,00	18,00	9,14

Tabla 19. Requerimiento nutricional de potasio en los cultivos, por tonelada de grano producido. Fuente: INTA. Promedio de varias publicaciones. Extraído de Cruzate y Casas (2003).

4.3.1. LOS DEPÓSITOS DE LA CUENCA NEUQUINA

Desde el punto de vista estratigráfico los niveles mineralizados con potasio se ubican en la sección superior del Miembro Troncoso de la Formación Huitrín. Los límites de subsuelo orientales están basados en el análisis de perforaciones, mientras que los occidentales están definidos por los afloramientos de la Formación Huitrín. La exploración minera -de detalle en el área del proyecto de Potasio Río Colorado, en la provincia de Mendoza- subdividió el Miembro Troncoso superior, en base a su litología, en orden ascendente, en: *Sulfatos Basales*, *Sal Principal* y *Arcilla Guía*.

Los *Sulfatos Basales* en subsuelo conforman un cuerpo tabular de anhidrita laminar o nodular con amplia distribución en la cuenca. El contacto con el miembro suprayacente es neto. En el área del Proyecto Potasio Río Colorado el espesor varía entre 7 y 15 metros; el techo se encuentra a cota 336 msnm y descendiendo 25 m/km en dirección S 70° O. Constituye un importante sello hidráulico inferior de la formación salina. En superficie este nivel está representado por afloramientos de yeso.

El horizonte de *Sal Principal* está integrado principalmente por cloruros de sodio y potasio con delgadas intercalaciones de anhidrita y arcillas subordinadas. Su presencia se ha descrito sólo en subsuelo, probablemente debido a la solubilidad de las sales que lo componen. Estas sales son lábiles a la disolución y diagénesis y capaces de fluir durante el enterramiento, lo que provoca la pérdida de sus características deposicionales primarias. El espesor de este horizonte varía de 0 metros en el borde de cuenca (hacia el este) hasta 200 metros (25 km hacia el oeste). De base a techo se describen para los primeros dos tercios: 70 metros de halita pura, con escaso contenido de insolubles, a veces con intercalaciones delgadas de anhidrita; continúa 5 metros de halita bandeada, limpia, de color blanquecino a lechoso (intervalo denominado *Sal Inferior*). En la base del tercio superior se encuentra la mineralización de potasio en una proporción de 10 a 60% de silvita (CLK) junto con halita, formando silvinita. Esta se distribuye en dos capas designadas como K1 y K3, separadas por 5 a 8 metros de halita con menos de 5% de silvita, que se identifica como *Sal Intermedia*. Los niveles de silvinita se encuentran a profundidades cercanas a 1100 metros bajo boca de pozo (cota 220 metros sobre el nivel del mar). En esta zona la temperatura de los niveles mineralizados alcanza 57 °C.

El tercio superior de la *Sal principal*, denominado *Sal Superior*, está integrado por 30 metros de halita anaranjada hasta blanco lechoso y transparente, con delgadas intercalaciones de anhidrita (hasta un máximo de 60 cm de espesor) y de arcillas.

A partir de testigos extraídos de la *Sal Principal* se determinó la mineralogía, identificándose en las capas K1 y K3 la presencia casi exclusiva de silvita mezclada

con halita (silvinita); en sentido vertical se distinguen variaciones texturales menores (tamaño y forma de los cristales, proporción de silvita y halita, color, presencia de hematita cubriendo cristales, y concentración de arcillas diseminadas), que pudieron correlacionarse en pozos cercanos.

Cada una de las capas tienen niveles de sales de potasio interestratificadas con halita estéril. La capa inferior (K1) es la más importante para el proyecto por su continuidad lateral y regularidad de espesores y leyes. El espesor varía entre 11 y 15 metros y sus leyes son de alrededor de 25 % K₂O. La capa K3 está separada de K1 por 5 a 8 metros de halita, su distribución areal y espesores son irregulares y su ley varía de 17 a 22 % K₂O. La mineralogía es similar en las dos capas descriptas excepto que en K3 los cristales de silvita tienen un tamaño menor a 0.5 cm mientras que en la capa K1 los cristales son mayores (0.5 a 1 centímetros, ocasionalmente alcanzan 5 cm), lo que indica una posible recristalización por diagénesis que explicaría el aumento de las leyes. Se han descrito pequeños niveles de arcillas y escasos rodados pelíticos; el contenido de insolubles (arcillas, hematita, anhidrita) en las capas con silvita es escaso (1 a 1,92 %).

La distribución areal del horizonte denominado *Arcilla Guía* es amplia, reconociéndose en toda la cuenca, por lo que constituye un excelente nivel guía. El espesor es uniforme y varía entre 4 y 6 metros. Se trata de fangolitas calcáreas en la base que pasan a pelitas verde grisáceas laminadas. En la zona del proyecto de Potasio Río Colorado el contacto con la sal principal es neto, y junto con el miembro suprayacente (Caliza La Tosca) constituyen el sello hidráulico superior de la formación salina.

Las áreas reconocidas con mineralización de potasio en la cuenca neuquina son las siguientes:

4.3.1.1. Yacimiento Potasio Río Colorado

El área se ubica en el sur de la provincia de Mendoza y norte de la provincia del Neuquén (coordinada aproximada del centro del área: 69° 30' L.O. y 37° 00' L.S.). Potasio Río Colorado S.A. fue la primera y única empresa que realizó una tarea exploratoria integral por potasio en la cuenca neuquina (desde las etapas de prospección en la década de 1970 hasta la actual prefactibilidad del proyecto). En el sur de la provincia de Mendoza las intensas exploraciones permitieron definir el Yacimiento Potasio Río Colorado, que cuenta actualmente con una prefactibilidad definida.

En el sur de la provincia de Mendoza este proyecto definió un área de 1.800 hectáreas, donde la empresa realizó el cálculo de reservas y un estudio de factibilidad del minado por disolución. El sector presenta un relieve mesetiforme ideal para la construcción de piletas de precipitación solar, utilizados en el proceso de recuperación del mineral bajo el método de disolución previsto para este proyecto.

La profundidad de los niveles mineralizados varía entre 750 y 1150 mbbp, con espesores de 12 a 25 metros y leyes de 20 a 32 % K_2O . La mineralización es de silvita (KCl) en proporciones de 10 % a 60 %, con capas intercalas de halita (NaCl) pura o con bajo contenido de potasio.

De acuerdo con datos de la empresa Potasio Río Colorado (Balod, 1999) el total de *reservas in situ* (denominación de la empresa) para la capa K1 es 138.200.000 t de KCl, que equivalen a 87.300.000 t de K_2O . Un total de 48.750.000 t representan reservas comercializables de ClK, sobre la base de una futura explotación por el método de *solution mining* (disolución y evaporación en piletas solares y flotación). La evaluación de reservas realizada por esta empresa utilizó oportunamente para su cálculo los valores del análisis de los perfiles gamma calibrados a partir de los datos de los ensayos realizados sobre testigos corona. Para los estudios de prefactibilidad se construyeron piletas solares piloto, donde se evaporaron las salmueras extraídas. El análisis químico de las sales precipitadas se presenta en la tabla 20:

4.3.1.2. Área El Portón

Está ubicada en el departamento Pehuénches, en el norte de la provincia del Neuquén, sobre el Río Colorado, con coordenadas aproximadas 69° 39' L.O. y 37° 06' L.S.

La columna estratigráfica en el área está conformada por potentes secuencias evaporíticas que yacen en forma discordante sobre la Formación Agrio y corresponden a las Formaciones Huitrín y Rayoso, sobre la que se depositaron facies continentales del Grupo Neuquén (Cretácico Superior).

El Miembro Troncoso Superior está constituido por potentes niveles de halita (ClNa) masiva, cristalina, con muy escaso contenido de minerales insolubles (delga-

das capas de arcilita y yeso). En su base, el nivel de sulfato tiene 8 a 10 metros de potencia. La halita alcanza potencias (en yacencia normal) de 200 metros, pero puede alcanzar 700 metros por apilamiento compresivo. Los mantos de cloruro de potasio (silvita) se intercalan en el nivel medio-superior de este miembro, a una profundidad entre 30 y 50 metros del techo. El Miembro Troncoso superior culmina con un nivel de arcillitas impermeables de 5 metros de potencia. Por encima continúan 36 a 38 metros de caliza, en parte dolomítica, correspondientes al Miembro La Tosca.

La mineralización de potasio en El Portón se encuentra distribuida en subsuelo en varios niveles separados por capas estériles de ClNa. La mineralización es discontinua en sentido vertical, variando la concentración de cloruro de potasio por la presencia de delgadas intercalaciones de orden centimétrico de cloruro de sodio (halita) y arcilita + anhidrita. En sentido lateral -considerando la distribución de pozos de exploración de la industria petrolera, que brindaron información- los niveles con potasio muestran presencia continua por un orden de decenas de kilómetros. No se cuenta con testigos de perforación, por lo que se desconoce la mineralogía presente. Según el registro de rayos Gamma, se infiere la presencia de silvita en horizontes que representan, cada uno, un episodio de sedimentación único. La secuencia normal para esta porción de la cuenca es de tres episodios principales (de base a techo), que siguiendo la nomenclatura propuesta en los primeros estudios exploratorios de los niveles de potasio en la cuenca neuquina, pueden denominarse K1, K2 y K3, cada uno de ellos separado por horizontes de halita con potencia del orden del metro. A su vez, cada nivel con sales de potasio presenta intercalaciones de halita de orden centimétrico. El horizonte K1 es el de mayor potencia, ley y continuidad lateral; los demás horizontes son irregulares y muestran menor potencia y ley. La potencia media de los

ELEMENTO	%
K	17,6
Na	26,2
Br	0,23
Ca	0,23
Fe	0,03
Cl	44,4
H ₂ O	1,12
Insolubles	0,44
CO ₃	0,02
Carbón	0,11
Carbón orgánico	0,09

ELEMENTO	ppm
As	10
B	2
Cr	2
Cu	5
F	180
Mg	32
Mo	2
Ni	5
Pb	2
Si	42
V	2

Tabla 20. Análisis químicos de sales precipitadas en piletas de evaporación a partir de salmueras extraídas en el yacimiento Potasio Río Colorado, prov. de Mendoza, según Balod (1999).

niveles mineralizados fue determinada en 14 metros con leyes entre 20 y 30% K_2O .

Los recursos inferidos son del orden de 300 Mt de ClK (70 Mt de K_2O). En la estructura homoclinal mencionada, en una superficie de 10 km², el cálculo de reserva "in situ" indica 34 Mt / km² de cloruro de potasio (silvita) con una ley de 20 a 30 % K_2O y 17 m de espesor.

Las reservas de la estructura braquianticlinal no fueron objeto de cálculos, pero sí consideradas de importancia debido al espesor que adquieren los niveles de potasio (hasta 64 metros) por el fenómeno de apilamiento de capas.

Hacia el sur del yacimiento El Portón, en la zona de Filo Morado-Pampa Negra, Gabriele (1999) indica que la intensa deformación tectónica a la que fueron sometidos los bancos salinos no permite definir con claridad los niveles con potasio K1 y K3, si bien el registro de rayos Gamma indica sectores con altas leyes y zonas donde el potasio no se encuentra afectado por corrimientos. En un pozo exploratorio (hidrocarburos) que permitió el reconocimiento de varios niveles con escasa deformación, reconoció hasta seis niveles a una profundidad entre 700 y 1700 metros, con espesores de 4 metros para el horizonte K3 y 14 metros para el horizonte K1. Las leyes inferidas son del orden de 15% K_2O .

4.3.1.3. Área Pampa de Las Liebres

El área está ubicada al sur de Pampa de Tril y al oeste de la Sierra de Huantraico. Con información proveniente de escaso número de sondeos, Gabriele (1999) informó que fueron localizados niveles mineralizados con potasio a profundidad de 600 a 700 metros bajo boca de pozo, lo que permitiría considerar la economicidad y posibilidad de una explotación mediante minería subterránea convencional.

El espesor medio informado es de 4,5 metros para el nivel K1 y 3,5 metros para el nivel K3, con leyes estimadas de 13 a 15 % K_2O . Con estos parámetros, y para un área de 10 km², en el mencionado trabajo se estimó un recurso de 35 Mt ClK.

4.3.1.4. Área Sierra Negra

Se ubica en el flanco este de la Sierra Negra cubriendo una superficie de 48.000 ha. Los niveles con potasio se detectaron a profundidades entre 800 y 1400 metros bajo boca de pozo. El estudio realizado por Cormine (1993) -que cuenta con un registro minucioso de los perfiles de rayos Gamma en la zona de mayor densidad de pozos- así como trabajos posteriores (Gabriele, 1999), permiten deducir una distribución irregular del potasio e incluso sectores sin mineral. La variación existente entre los niveles portadores de potasio puede observarse, por ejemplo, en los datos de perforaciones separadas 1.5 km, donde para un pozo se han descripto 3 capas mineralizadas mientras que

otro resultó estéril. Esta variación puede deberse a la lenticularidad de los depósitos o a factores estructurales (Gabriele, 1992, 1999), o también a los efectos de intrusivos, para lo cual debe recurrirse al análisis de líneas sísmicas (información perteneciente a la empresa Repsol-YPF S.A.)

En este amplio sector el espesor del nivel mineralizado con potasio K1 es de 2 a 13 metros, con una media de 6,5 metros y ley estimada (a partir de la respuesta de rayos Gamma en perfiles) en 15 % K_2O . Gabriele (1999) estimó un recurso de 90 Mt ClK considerando una superficie de 30 km².

4.3.1.5. Área Paso Barda

El área cubre gran parte del flanco noroeste de la Sierra Negra, hasta el Río Colorado, abarcando una superficie de 38.000 ha.

Los niveles mineralizados con potasio son 2 a 6 horizontes detectados a una profundidad entre 1300 y 1600 mbbp (Gabriele, 1999). Para el nivel K1 la potencia mínima es de 3,4 metros, la máxima 11,7 metros y la potencia media 8,15 metros. La ley estimada a partir de la lectura de la respuesta de rayos Gamma en perfiles (cálculo indirecto) es de 16 % K_2O . Con estos parámetros, en la citada investigación se estimaron recursos por 100 Mt ClK en un área de 25 km². El nivel K3 tiene potencias entre 3,5 y 7,9 metros, con ley estimada en 13 % K_2O .

4.3.1.6. Área Los Barreales

La zona Los Barreales cuenta con escasa información. Los pozos de exploración petrolera estudiados (perfiles de respuesta de rayos Gamma) demuestran que los niveles de potasio se ubican entre 980 y 1200 metros de profundidad bajo boca de pozo. Se definió un sólo nivel mineralizado, de 7 metros de espesor promedio y ley inferida en 17 % K_2O . Hacia el este se comprobó la continuación de niveles mineralizados a 1444 mbbp con 5,5 m de espesor y ley inferida en 15% K_2O . Gabriele (1999) estimó un recurso de 55 Mt ClK considerando dentro de esta zona una superficie de 15 km².

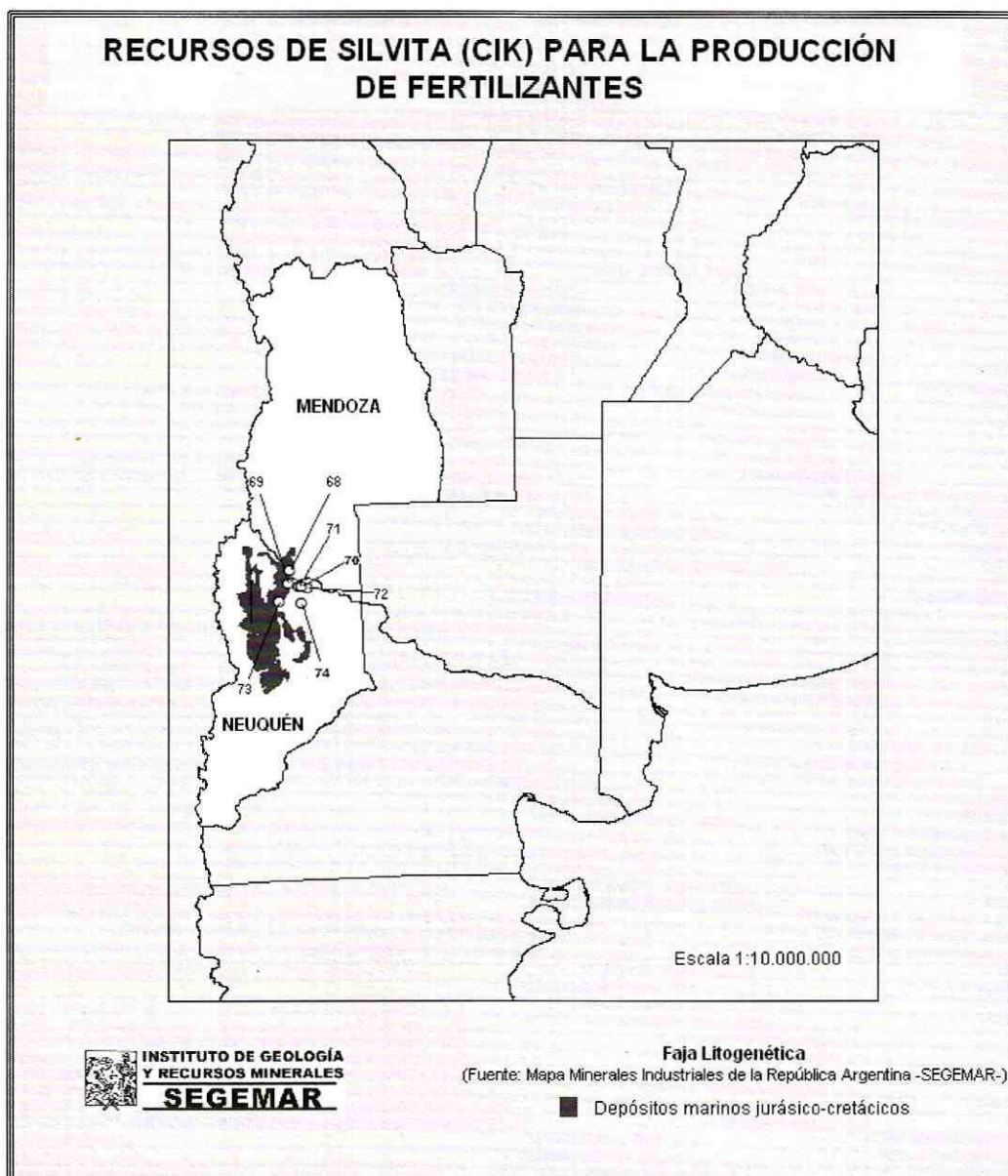
Nota Aclaratoria: Las áreas de Sierra Negra, Paso Barda y Los Barreales formaron parte de un Área de Exclusividad de Interés Especial para la Exploración de Potasio definida por la Provincia del Neuquén, que abarca 90.000 ha dentro del territorio neuquino, inmediatamente al sur del río Barrancas (límite interprovincial con Mendoza), ofrecida a la actividad privada mediante licitación en 2004 (Herrmann *et al.*, 2003).

El resumen de los recursos y reservas de potasio en la cuenca neuquina y las principales características geológico-mineras de las áreas mineralizadas y los yacimientos se observan en la Ficha de depósitos N° 13.

FICHA N° 13. DEPÓSITOS DE CLORURO DE POTASIO DE LA CUENCA NEUQUINA

Áreas mineralizadas con ClK	Prof. Nivel K (mbbp)	Espesor (m)	Ley (% K ₂ O)	Sup. considerada	Recursos (Mt ClK)	Observaciones	Referencias
Yacimiento Potasio Río Colorado (Mendoza)	1100	13 (K1) 4 (K3)	25 17-22	18 km ²	138 Mt (reserva in situ)	17 pozos perforados; 762 m de testigos	Balod, 1999
Pampa de las Liebres	600 a 700	4,5 (K1) 3,5 (K3)	15 13	10 km ²	35 Mt	Escaso número de sondeos	Gabriele, 1999
Salinas de Huitrín	600 627,5	4 (K1)	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Un sondeo	Gabriele, 1999
		2,8	25	1 km ²	5,5 Mt	Un sondeo. El área es de 150 km ² .	Cormine, 1992.
Filo Morado Pampa Negra	700 a 1700	4 (K3) 14 (K1)	15 15			Deformación tectónica (apilamiento). Dato de un pozo sin def.	Gabriele, 1999
El Portón	414 a 1624	1 a 20. Hasta 7 niveles.	10 a 30	10 km ²	300 Mt	Prof. máxima considerada: 1200 mbbp	Cormine, 2001 (inédito).
Sierra Negra *	800 a 1400 900 a 1100	2 a 13 (K1) 5,5	15 25	30 km ² 6,25 km ²	90 Mt 67 Mt	Distribución heterogénea de los niveles con K 50 pozos considerados para el cálculo de reserva. 400 pozos evaluados (172 con K)	Gabriele, 1999 (consideró hasta el río Colorado) Cormine, 1992 (Área de Reserva Sierra Negra, 400 km ²).
Paso Barda*	1300 a 1600	8 (K1) 5,5 (K3)	16 13	25 km ²	100 Mt		Gabriele, 1999
Los Barreales *	1200 a 1400	7 (K1)	17	15 km ²	55 Mt	Información escasa	Gabriele, 1999

* Zonas incluidas en el Área de Exclusividad provincial para la exploración de potasio en la provincia del Neuquén, licitadas en 2004.



Depósitos de sales de potasio

Número	Latitud S	Longitud O	Sustancia	Yacimientos/áreas de exploración
68	36° 57'	69° 36'	Cloruro de Potasio	Yacimiento Potasio Río Colorado
69	37° 11'	69° 39'	Cloruro de Potasio	El Portón
70	37° 13'	69° 23'	Cloruro de Potasio	Paso Bardas
71	37° 14'	69° 27'	Cloruro de Potasio	Filo Morado-Pampa Negra
72	37° 16'	69° 17'	Cloruro de Potasio	Sierra Negra
73	37° 27'	69° 50'	Cloruro de Potasio	Pampa de las Liebres
74	37° 30'	69° 24'	Cloruro de Potasio	Los Barriales

CAPÍTULO V

FÓSFORO

5.1. MINERALES QUE PROVEEN FÓSFORO. ROCAS FOSFÁTICAS

El fósforo se obtiene a partir de la explotación de yacimientos de rocas fosfáticas; las que pueden ser: a) rocas sedimentarias marinas o fosforitas (en las que el contenido de P_2O_5 en general supera 18 %), b) rocas ígneas (carbonatitas y otras rocas alcalinas), y c) acumulaciones de guano en islas. En el mercado mundial el 80 % del fósforo se obtiene de la explotación de fosforitas.

De acuerdo con su contenido de P_2O_5 las rocas con fósforo pueden clasificarse en fosforitas (>18 % P_2O_5), rocas fosfáticas (8 a 18 % P_2O_5) o rocas ligeramente fosfáticas (2 a 8 % P_2O_5). Los mayores contenidos de P_2O_5 se dan cuando la composición química se aproxima a la del carbonato-fluorapatita, cuya fórmula química es $[Ca_5(PO_4CO_3)_3F]$. Los principales elementos y grupos químicos de estas rocas son Ca^{2+} , PO_4^{3-} y F^- , y en ellas el contenido de CaO puede alcanzar 50 %.

Los principales fertilizantes fosfatados son el Fosfato Diamónico (DAP), el Fosfato Monoamónico (MAP), el Superfosfato Simple (SSP), el Superfosfato Triple Calcio (SPT) y el fosfato natural (fosfato de calcio natural molido proveniente de fosforitas, con un contenido entre 18 y 30 % P_2O_5). El SSP contiene 20 % P_2O_5 , mientras que el SPT entre 40 y 50 % P_2O_5 .

Para la elaboración de los productos comerciales generalmente se trata la roca fosfática con ácido sulfúrico. Otra fuente de fósforo asimilable es el fosfato bicálcico, obtenido a partir del fosfato mineral asimilable con HCl.

Los principales productores de fosfatos en el mundo son Estados Unidos, Rusia, China y Marruecos. En el orden mundial los yacimientos de rocas fosfáticas sedimentarias tienen un tonelaje medio de entre 300 y 400 millones de toneladas, con leyes del orden de 25 % P_2O_5 , aún cuando se explotan yacimientos con leyes entre 10 y 15 % P_2O_5 .

5.2. NECESIDAD DE APLICACIÓN DE FÓSFORO EN LOS SUELOS CULTIVABLES

De acuerdo con investigaciones del INTA (Cruzate y Casas, 2003) la susceptibilidad al empobrecimiento en fósforo es alta en el centro y norte de la provin-

cia de Buenos Aires, sudeste de Santa Fe, oeste de Córdoba, noreste de Corrientes y suroeste de Misiones. En la región maicera-sojera de la Pampa húmeda es donde se ha notado una caída sustancial del fósforo disponible.

Los principales cultivos requieren entre 3,8 y 7,6 kg de P por tonelada de grano (ver tabla 21). En el ciclo agrícola 2001/2002 se cosecharon 66.658.675 t de estos granos en las principales áreas cultivadas de la Argentina, y como consecuencia se extrajeron 319.993 t de P.

Este déficit se cubre con la incorporación de fertilizantes fosfatados como los mencionados arriba, cuya materia prima mineral no se ha hallado hasta el momento en la Argentina, con posibilidades de explotación económica, según se explica en el ítem 5.3. de este trabajo.

5.3. RECURSOS DE FÓSFORO EN LA ARGENTINA

En la Argentina, como resultado de la realización parcial del Plan Fosforita¹ y de posteriores escasos estudios puntuales, se reconocen áreas con interesantes perspectivas de existencia de depósitos fosfáticos, pero sin que puedan definirse al momento verdaderos yacimientos de fosforitas (depósitos económicamente explotables) sino sólo manifestaciones de rocas portadoras de fosfatos en distintas proporciones, que en su mayoría no superan 10 % P_2O_5 .

Otro importante aporte al conocimiento de las existencia de fosfatos en la Argentina lo constituye la prospección sistemática de los niveles marinos cretácicos y terciarios en Patagonia efectuada por proyectos de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, y las investigaciones sobre el posible aprovechamiento de la mena ferrífera de Sierra Grande en la provincia de Río Negro, para la obtención de apatita.

Un posible cambio de perspectiva en la valoración del recurso mineral fosfático, dado por la aplicación directa de fertilizantes minerales, es destacar las rocas portadoras de fosfatos que -a pesar de bajos tenores relativos de P- contienen altos conte-

	SOJA	TRIGO	MAIZ	GIRASOL	SORGO
Requerimiento de P (kg/t)	7,59	5,13	4,20	5,13	3,81

Tabla 21. Requerimiento nutricional de fósforo en los cultivos por tonelada de grano producido. Fuente: INTA. Promedio de varias publicaciones. Extraído de Cruzate y Casas (2003).

¹ Plan del Servicio Minero Nacional, que comenzó en 1969 investigando 18 áreas en una superficie total de 637.000 km² y dio por finalizado formalmente en 1988 habiendo relevado el 55 % de dicha superficie.

nidos de otros nutrientes minerales, como Ca o Mg. En particular se destacan las calizas con contenidos de P_2O_5 de la cuenca neuquina u otro tipo de rocas carbonáticas (coquinas).

Además, la aplicación directa de roca fosfática como fertilizante -si bien en respuesta inicial es superada por el uso de fertilizantes de liberación rápida- conlleva un efecto residual intrínseco que debe evaluarse no sólo técnica sino económicamente.

Entre las regiones de nuestro territorio donde existe conocimiento de la presencia de manifestaciones fosfáticas, cobran importancia relativa los niveles de rocas carbonáticas con contenido de fosfatos (como sucede en la provincia del Neuquén) frente a los horizontes de areniscas con concreciones fosfáticas (provincia del Chubut) y de areniscas cuarcíticas con restos fósiles fosfáticos (provincias de Jujuy y Salta).

Por otra parte, se realizaron estudios de recuperación de fosfatos a partir de menas de minerales no fosfáticos pero que portan P como impureza, como el caso de las colas de procesamiento del mineral de hierro de Sierra Grande, en la provincia de Río Negro.

Asimismo, se realizaron estudios (ensayos de rendimiento) sobre el tratamiento de concentraciones fosfáticas del depósito Cargadero Chauque (Río Capiillas), en la provincia de Jujuy, resultando altos contenidos de P_2O_5 soluble en medio cítrico asimilable.

5.3.1. CUENCA NEUQUINA (PROVINCIA DEL NEUQUÉN)

Las manifestaciones fosfáticas de la cuenca neuquina fueron descubiertas en la Sierra de Vaca Muerta y adyacencias, provincia del Neuquén, por el Plan Fosforita, en el año 1971. Los niveles fosfáticos están contenidos en una faja de 80 a 120 m de espesor en la sección superior de la Formación Vaca Muerta, con una corrida de 22 km comprendida entre el cerro Punta Alta al norte y Mallín Quemado al sur, destacándose el Área de Bajada del Agrio como la más importante (Leanza et al., 1975 y Mastandrea et al., 1982). Las potencias y leyes de los niveles fosfáticos (ver tabla 22) no permiten considerar su explotación económica hasta tanto no se definan continuidades areales de gran extensión.

Las rocas portadoras de fosfatos son calizas fosfáticas y areniscas fosfáticas. En las primeras (micritas y subesparitas fosilíferas, oolíticas, terrígenas y nodulares) el mineral fosfático se presenta como nó-

dulos, restos fósiles reemplazados, fragmentos clásticos, oolitas y oolitas superficiales, e impregnando la calcita micrítica, integrando entre 2 y 40 % de la roca. En las areniscas fosfáticas (cuarzosas, feldespáticas y fosilíferas) el fosfato se encuentra como nódulos, fragmentos clásticos, restos fósiles reemplazados, cemento, e impregnando la matriz, constituyendo entre 5 y 30 % del armazón de la roca o hasta 20 % cuando representa el cemento (Mastandrea et al., 1982). La posición estructural de los niveles con fosfatos hasta ahora reconocidos no es la más conveniente para su explotación, ya que inclinan entre 15 y 50° ESE en dirección contraria a la de la pendiente.

Durante los últimos años, en Bajada del Agrio se han comenzado a explotar, aunque con medios artesanales y a muy pequeña escala, bancos de hasta 50 cm de espesor de calizas fosfáticas, con un tenor que en ocasiones alcanza 10 % P_2O_5 .

Potencial de uso agrícola de los yacimientos de la cuenca neuquina:

Ventajas:

- Posibilidad de aplicación directa de roca caliza con tenores de P_2O_5 .

Restricciones:

- Depósitos no explotables económicamente
- Bajos contenidos de P_2O_5
- Posición estructural inconveniente.

5.3.2. PROVINCIA DE CHUBUT

La presencia de fosfatos en la Formación Gaiman o Patagonia es destacada en las investigaciones de Leanza et al. (1981), Scasso et al. (1996) y Castro et al. (1996).

En rocas de la Formación Patagonia se reconocen concreciones fosfáticas aisladas con leyes de 10 a 19 % P_2O_5 que afloran en Punta Loma y Bajo Hondo, en el NE de la provincia de Chubut, y en Pico Salamanca, Cerro Chenque y Ea. Busnadiago, en el SE de la misma provincia.

En la Formación Río Chico, de edad paleocena, se hallaron concreciones fosfáticas con leyes de 15 a 22 % P_2O_5 y en la Formación Salamanca, también del Paleoceno, existen manifestaciones fosfáticas con contenidos semejantes de P_2O_5 .

En la Formación Gaiman (de edad miocena) aflorante en la margen derecha del río Chubut en la localidad de Loma Blanca (Bryn Gwyn), se reconoció una arenisca conglomerádica fosfática de 0,20 a 0,40 m de

LOCALIDAD	NIVELES FOSFÁTICOS	POTENCIA (m)	LEY (% P_2O_5)
Bajada del Agrio	6	0,20 a 4,00	1,5 a 10,1
Co. Punta Alta	7	0,10 a 0,50	1 a 3,8
La Porfía	5	0,15 a 0,30	2,1 a 5,4
Mallín Quemado	12	0,30 a 0,90	1,8 a 5,4

Tabla 22. Potencia y leyes de los niveles fosfáticos de la F. Vaca Muerta (Mastandrea et al., 1982).

potencia portadora de concreciones fosfáticas de color rosado, cementada por carbonatos, cuyo análisis - para material seleccionado- indicó un contenido de 19,50 % P_2O_5 con 29,6 CaO (Castro et al., 1998; Scasso et al., 1998). Los análisis químicos de dos muestras de las concreciones indicaron 15,61 y 20,25 % P_2O_5 con 38,60 % CaO, mientras que una muestra total del conglomerado fosfático arrojó 3,10 % P_2O_5 y 36 % CaO.

5.3.3. PROVINCIAS DE SANTA CRUZ Y TIERRA DEL FUEGO

En el Gran Bajo de San Julián, provincia de Santa Cruz, afloran rocas de la Formación San Julián con niveles fosfáticos delgados de leyes fluctuantes entre 1,3 y 14 % P_2O_5 , en tanto que en la Cuenca Austral se hallaron bancos fosfáticos delgados con hasta 15 % P_2O_5 . Sin embargo, el escaso espesor de los niveles mineralizados y su carácter lenticular impedirían actualmente su explotación económica.

En la Formación Río Claro (Paleoceno-Eoceno), en el centro de Tierra del Fuego, al norte del lago Fagnano, en uno de los bancos superiores de la coquina existen nódulos irregulares de tamaño variable entre 2 y 10 cm cuyo análisis para material seleccionado indicó 21,66 % P_2O_5 y 31,8 % CaO (Castro et al., 1998).

5.3.4. PROVINCIAS DE SALTA Y JUJUY

En varias localidades de las provincias de Salta y Jujuy se han reconocido rocas con contenido de fosfato; corresponden a areniscas cuarcíticas de edad ordovícica que alojan restos de conchillas del braquiópodo *Lingula* sp., entre ellos:

a) Ríos Condado (Santa Rosa) - La Misión: un horizonte principal de 1,10 m de potencia con 10,98 % P_2O_5 y dos secundarios de 0,60 y 0,30 m de espesor con 7,20 % y 4,78 % P_2O_5 respectivamente. Se alojan en sedimentitas de edad ordovícica, con intensa perturbación tectónica y variación en los niveles fosfáticos.

b) Ríos Porongal, Alisar e Iruya: horizontes de 0,5 a 1,20 m de potencia con tenores de 6 a 11,90 % P_2O_5 .

c) Río Negro: cuatro bancos fosfáticos con espesores de 0,80 a 1,60 metros y contenidos de 4 a 5,4 % P_2O_5 .

d) Río Margarita-San Lucas: un nivel de 3,5 m de espesor con 5,27 % P_2O_5 y otro de 2,5 m de potencia con 14,4 % P_2O_5 .

e) Río Ocloyas: un horizonte de 0,80 m de espesor con 7,50 % P_2O_5 y otros de 1 y 2 m de potencia con contenidos menores de 4,80 % P_2O_5 .

f) Río Capillas: En Cargadero Chauque (al NE de San Salvador de Jujuy) aflora un banco con 3 m de potencia media, 1000 m de extensión y contenidos de hasta 6 % P_2O_5 . En Lajas Moradas (también al NNE de San Salvador de Jujuy), un horizonte de areniscas cuarcíticas fosfáticas y pelitas con una potencia de 3,14

metros, corrida de 650 m y contenido de 4,9 % P_2O_5 .

g) Azul Pampa y alrededores de Iturbe, en el departamento Humahuaca: formando parte de las formaciones ordovícicas Casayoc y Azul Pampa, existen niveles fosilíferos fosfáticos de 0,20 a 0,50 m de espesor con contenidos que varían entre 1,5 y 7,2 % P_2O_5 , con excepciones de hasta 12 % P_2O_5 (Fernández, 1983).

5.3.5. OTRAS MANIFESTACIONES FOSFÁTICAS EN LA ARGENTINA

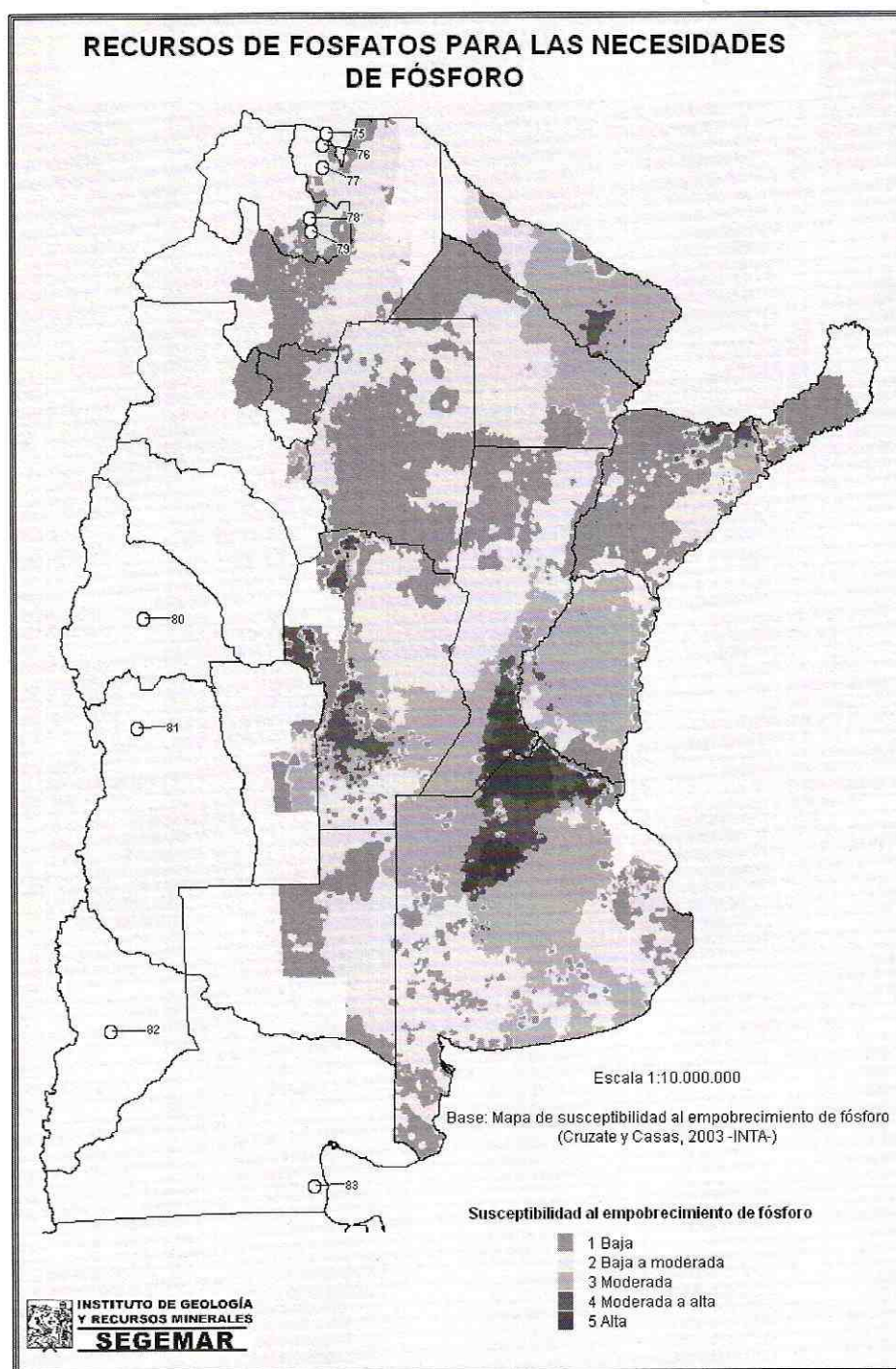
En otras varias regiones de la Argentina, la prospección del mencionado Plan Fosforita identificó rocas con contenidos de fósforo (en general bajos, hasta anomalías). Entre ellos se mencionan: la Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza (areniscas con cemento fosfático); la subcuenca de Cacheuta en la provincia de Mendoza (lentes fosfáticos en lutitas carbonosas); las Sierras Septentrionales de Buenos Aires (anomalías de fósforo en dolomías de la Formación Villa Mónica, cercanas a Olavarría) y la cuenca de Sierra Grande, en la provincia de Río Negro (fósforo en los niveles de areniscas ferríferas).

5.3.6. EL DEPÓSITO FERRÍFERO DE SIERRA GRANDE, RÍO NEGRO

La mineralización de hierro de Sierra Grande contiene apatita, la cual se encuentra concentrada en las colas producidas por la planta de concentración de mineral de hierro que funcionó hasta comienzos de la década de 1990. Se ha estudiado la factibilidad técnica y económica de concentrar esta apatita como etapa intermedia para producir fertilizante fosfático. Los recursos disponibles en las colas ascienden a 3.3 millones de toneladas, con una ley media de 3,2 % P (lo que equivale aproximadamente a 7 % P_2O_5). Nuevos ensayos de concentración de mineral de hierro realizados en el año 1998 indican que en las colas se puede obtener una ley de entre 3,7 y 3,8 % de P.

Con relación al estudio de factibilidad -realizado en el año 1984- las conclusiones indican que el producto obtenible no sería de alta calidad debido al contenido de Fe y, por otra parte, el costo de concentración resultaría elevado. Se analizó asimismo la posibilidad de producir fertilizante nitrofosforado, combinando la capacidad de producción de fosfato con fertilizante nitrogenado a partir de las reservas de gas natural de la Argentina. Este proyecto obtuvo una factibilidad marginal, siendo técnicamente viable; en el estudio se sugiere monitorear los requerimientos de fertilizantes así como las mejoras en las tecnologías de producción y reevaluar la factibilidad técnico-económica.

Una nueva etapa se abrió a partir de la reciente adjudicación a una empresa de origen chino del yacimiento de hierro Sierra Grande, para la reapertura de la mina y su futura explotación.



Manifestaciones de rocas fosfáticas

Número	Latitud S	Longitud O	Sustancia	Manifestaciones / Yacimientos
75	22° 12'	64° 45'	Roca fosfática	Ríos Condados y La Misión
76	22° 25'	64° 50'	Roca fosfática	Río Porongal
77	22° 50'	64° 50'	Roca fosfática	Ríos Alisar e Iruya
78	23° 45'	65° 07'	Roca fosfática	Ríos Margaritas-San Lucas, Negro y Ocloyas
79	24° 00'	65° 05'	Roca fosfática	Cargadero Chauque (río Capillas)
80	31° 00'	68° 45'	Roca fosfática	Quebrada de Talacasto
81	33° 00'	69° 00'	Roca fosfática	Cerro Cacheuta
82	38° 30'	70° 00'	Roca fosfática	Bajada del Agrio
83	41° 30'	65° 20'	Mena de Fe c/apatita	Yacimiento ferrífero Sierra Grande

CAPÍTULO VI

NITRÓGENO

Si bien la principal fuente de nitrógeno es la atmósfera (78 % N_2), las fuentes naturales se completan con nitratos, carbón y materia orgánica. Los principales nitratos en la naturaleza son el de sodio, también llamado de Chile ($NaNO_3$), y el de potasio (KNO_3). Nuestro vecino Chile es un gran productor mundial, donde la explotación de yacimientos de nitratos para la producción de nitrato de sodio, de potasio y salitre sódico, de uso en la industria y en la agricultura, es realizada actualmente en la II Región.

La Argentina no cuenta con depósitos de nitratos reconocidos. Sin embargo, la disponibilidad de gas natural permite obtener fertilizantes nitrogenados sintéticos a partir de la síntesis del amoníaco. La urea y el nitrato de amonio son los principales fertilizantes nitrogenados, adaptables a diferentes cultivos y tipos de aplicación. En la localidad de Bahía Blanca (provincia de Buenos Aires) existe una planta productora de urea de primer nivel mundial.

CAPÍTULO VII

MICRONUTRIENTES

7.1. BORO

7.1.1. MINERALES QUE PROVEEN BORO: BORATOS

La principal fuente natural de boro son los boratos. Químicamente estos minerales conforman sales o ésteres de ácido bórico, que contienen el radical B_2O_3 . Se conocen unas cien especies minerales de boratos; sólo cuatro son abundantes y de importancia económica, ellas son: bórax (tincal) $[B_4O_7Na_2 \cdot 10H_2O]$, ulexita $[B_5O_9NaCa \cdot 8H_2O]$, colemanita $[B_6O_{11}Ca_2 \cdot 5H_2O]$ y kernita $[B_4O_7Na_2 \cdot 4H_2O]$. Por constituir concentraciones de interés económico en la Argentina, pueden además incluirse la hidroboracita: $Ca, Mg [B_3O_4(OH)_3]_2 \cdot 3H_2O$ y la inyoíta: $Ca[B_3O_3(OH)_5 \cdot 4H_2O]$.

En la Argentina, Tincalayu y Loma Blanca representan dos de los cuatro únicos yacimientos de bórax del mundo, junto con Boron en California y Kirka en Turquía. Los depósitos de boratos tienen edades terciarias y cuaternarias; los yacimientos terciarios se distinguen de los cuaternarios por su estructura y mineralogía (los minerales kernita, hidroboracita y colemanita sólo se encuentran en los primeros).

Los boratos son un grupo mineral con numerosos usos industriales; la aplicación en agricultura mundialmente representa sólo el 5 % del consumo total de boro.

Las altiplanicies de los Andes Centrales son un ambiente de ocurrencia conspicua de minerales de boro. En este ámbito se localizan importantes depósitos de boratos y su génesis se debe fundamentalmente a que en la región son comunes tres factores naturales: a) volcanismo, b) cuencas endorreicas y c) clima árido. Los boratos se acumulan en salares y en la boca de fuentes termales, siendo los depósitos de mayor relevancia los que se encuentran en las salinas. Estas son alimentadas por aguas meteóricas y por fuentes termales que fluyen en el interior de las cubetas. La principal fuente de boro son los fluidos termales que aportan el catión directamente (boro exógeno) o bien lo inyectan en las aguas subterráneas (boro endógeno) aflorando luego éstas como manantiales (Alonso y Viramonte, 1993). La evaporación del agua meteórica ge-

nera un aumento en la salinidad de la misma y también produce salmueras que se encuentran, generalmente, a menos de 1 metro de profundidad. Los depósitos de boratos en la Argentina se explotan a cielo abierto por diferentes métodos según sean yacimientos de edad terciaria o cuaternaria. Los yacimientos terciarios se explotan a cielo abierto, en canteras u *open pits*, por banqueo, debido a la gran dimensión y forma de los cuerpos. Los yacimientos cuaternarios, por ser depósitos superficiales, de poco espesor y con un encape menor de 1 metro, se explotan mediante métodos manuales (pico y pala) y/o mecánicos; además tienen gran desarrollo areal pero concentraciones económicas de boratos distribuidas en forma errática.

7.1.2. NECESIDAD DE APLICACIÓN DE BORO EN LOS SUELOS CULTIVABLES

De acuerdo con investigaciones del INTA (Cruzate y Casas, 2003) las áreas con mayor susceptibilidad al empobrecimiento en B se dan en la región de la Pampa arenosa en el oeste y noroeste de Buenos Aires, norte de La Pampa y sur de Córdoba. La mayor susceptibilidad corresponde a áreas con menor contenido de materia orgánica y alto contenido de arena.

Sin embargo, hay que considerar que los principales cultivos requieren bajos tenores de B, de 15 mg a 30 mg de B por tonelada de grano, con excepción del girasol que requiere 165 mg B o más por tonelada de grano (Cruzate y Casas, 2003). Durante el ciclo agrícola 2001/2002 se extrajeron de los principales suelos cultivados de la Argentina 596 t de B.

Estas necesidades se cubren con el aporte de fertilizantes con contenidos de B -que se elaboran con boratos minerales incorporados al blending-, o bien por aplicación directa de borato al suelo, granulado, molido o mediante pulverización o disolución.

El Proyecto Fertilizar (INTA Pergamino) indica que el análisis de suelos sigue siendo el método más difundido para medir la necesidad de B por parte de los cultivos. Si bien la recomendación adecuada se basa en el conocimiento local de la clase de suelo y de las condiciones ambientales, la tabla 23 resulta orientativa (INTA):

mg/kg	NECESIDAD DE BORO
< 0.30	Probable deficiencia
0.30 - 0.65	Posible deficiencia
0.66 - 1.00	Improbable deficiencia
1.10 - 3.5	Sin deficiencia
> 3.5	Probable toxicidad de boro en algunos cultivos

Tabla 23. Contenido de boro en los suelos

7.1.3. RECURSOS DE BORO EN LA ARGENTINA. LA REGIÓN DE PUNA

La República Argentina es un importante productor de boratos a escala mundial; la Puna es el único ámbito geológico del país donde se encuentran depósitos de boratos, siendo uno de los pocos lugares del mundo que los poseen. La Puna se caracteriza por su paisaje y clima desértico, con impactantes estratovolcanes rodeados de planicies aluviales y salares. En una superficie de 100.000 km² los depósitos de boratos se distribuyen en una elongada faja de dirección NNE-SSO que abarca parte del oeste de Jujuy, Salta y Catamarca. Los yacimientos más importantes son Loma Blanca, ubicado en Jujuy, en la Puna Septentrional, que contiene tincal y ulexita; el yacimiento Tincalayu, productor de tincal, y el yacimiento Sijes, que contiene hidroboracita y colemanita. Estos dos últimos se ubican en la Puna Austral, en la provincia de Salta.

Los depósitos de boratos en la Puna argentina corresponden a dos fajas litogenéticas: las facies evaporíticas en depósitos sinorogénicos terciarios y los depósitos evaporíticos de salares cuaternarios puneños.

El yacimiento Loma Blanca está ubicado a 4.150 m.s.n.m., con acceso a través de la ruta que une Coranzulí con Susques, hasta alcanzar la unión del río Grande con el arroyo Loma Blanca. El material extraído del yacimiento es preconcentrado mediante molienda primaria y secundaria con extracción de arcillas estériles, utilizando luego separadores magnéticos que benefician al mineral hasta formar un concentrado de alta ley. La concentración y el tratamiento de material en seco se realiza en una planta montada en Palpalá, a 10 km de San Salvador de Jujuy y 180 km de la mina. El yacimiento se encuentra en producción; el sistema de explotación en cantera es a cielo abierto. La ley media del depósito es 13 % B₂O₃, contando con una reserva del orden de 20 Mt. La mineralización se concentra en la sección pelítico-boratófera, compuesta de una serie de capas de tufitas y arcillitas con niveles de colemanita e inyoita de hasta 20 cm de espesor y láminas de ulexita de 2-3 cm interestratificadas con arcillita tufítica en una capa de aproximadamente 2 metros de potencia. El bórax se localiza en horizontes de 1 a 3 metros de espesor, inmediatamente por encima de la anterior, en ganga de arcillita tufítica e interestratificado con lentes estériles de arcillita con espesores de hasta un metro. Estos lentes, en ciertos sectores, se acuan hasta desaparecer, permaneciendo importantes niveles de bórax. Hacia el techo de la capa boratófera existe una toba blanca rica en boro.

El yacimiento Tincalayu se ubica en la provincia de Salta, en la península de Tincalayu, junto al borde noroccidental del salar del Hombre Muerto, a 4.100 m.s.n.m. Se accede desde Antofagasta de la Sierra (provincia de Catamarca), por ruta nacional 53 hasta el kilómetro 92, allí empalma el camino que llega hasta la

mina en un trayecto de 23 km. El depósito constituye un manto único de 30 metros de espesor, 1.000 metros de largo y 100 a 150 metros de ancho apoyado sobre un cuerpo de sal de roca y constituido por diecisiete especies minerales de boratos intercalados con lentes de sal y tufitas. Las reservas de Tincalayu superan 5,0 Mt de recurso con ley promedio 12 % de B₂O₃. El yacimiento es explotado a cielo abierto, por medio de un *open pit*, con banqueo regresivo y descendente. La planta de beneficio produce un concentrado primario con 28 % de B₂O₃.

En la depresión de Pastos Grandes, a 3900 m.s.n.m., en la serranía de Sijes, provincia de Salta, los principales yacimientos en explotación son Monte Amarillo y Monte Azul (Alonso, 1999). Existen otros depósitos aún no explotados o con trabajos incipientes (Monte Verde). En Monte Amarillo la mineralización se concentra en un manto de 137 m de espesor y una longitud de aproximadamente 2,5 km. La misma se distribuye en capas de hidroboracita, en algunos casos con yeso o tufitas, de espesores variables entre niveles milimétricos y capas de 2 metros (por deformación), aunque en general de 0,50 m a 1,0 metro, y longitudes del orden del centenar de metros. La explotación se realiza a cielo abierto, por banqueo. La ley promedio del depósito alcanza 19 % de B₂O₃ y las reservas superan 13,5 Mt.

Otros yacimientos y manifestaciones boratóferas de la Formación Sijes son: Esperanza, Santa Rosa (en el sector norte de la serranía de Sijes), Anita, Perico, Maridel, Playa 1, Monte Marrón y Sorpresa 3 (en la porción austral de la serranía de Sijes), Monte Gris, Playa 2-3 y Alejandro (en el flanco sudoriental de la serranía de Sijes), Monte Azul (actualmente en explotación; ubicada próxima a Monte Amarillo), Mina Apalacheana (rodeada por Monte Blanco al norte, Monte Azul al oeste y sur y Monte Amarillo al sur, que conforma un importante yacimiento de hidroboracita), Mina Ona (en el sector medio de la serranía de Sijes) y La Paz I, II, III, IV, Santa Elena y Santa Elvira (en la porción norte de la serranía de Sijes).

También portan mineralización de boratos los salares de la Puna Septentrional y Austral, que constituye acumulaciones evaporíticas aflorantes o bien cubiertas por delgadas capas de eflorescencias salinas o material detrítico. Tienen como característica común que la mineralización de boratos está representada por la especie ulexita y en algunos depósitos tincal subordinado; la excepción es el yacimiento Turi Lari donde el tincal compone la mena. Las acumulaciones de ulexita se disponen en láminas delgadas, como nódulos, barras o en estructura maciza, entre niveles de material arenoso, limoso o arcilloso, a veces con concentraciones de cloruro de sodio y sulfatos. En varios salares se comprobó la relación con surgencias termales, dispuestas en las fracturas que limitan las depresiones. Los principales exponentes, con mineralización de boratos, son: Salar Cauchari (Grupo Minero La Inundada), Salar Olaroz, Salar Jama, Laguna Vilama, Laguna

PROVINCIA	1998	2000	2002
Salta	204.943	265.698	299.520
Jujuy	70.479	241.276	208.288
Catamarca	1.389	5.650	1.822

Fuente: Estadística Minera de la República Argentina

Tabla 24. Producción de boratos de la Puna (en t)

Guayatayoc, Salinas Grandes, Turi Lari, Salar del Hombre Muerto, Salar Diablillos (Grupo minero Santo Domingo), Salar Centenario (Grupo minero Maggie) y Salar Ratones.

La producción de boratos de la Puna crece continuamente desde hace tres décadas, alcanzando en la actualidad cifras que superan 0,5 Mt anuales. El desglose por provincia de la producción de los años 1998, 2000 y 2002 se observa en la tabla 24.

Potencial de uso agrícola de los yacimientos de la Puna:

Ventajas:

- Gran disponibilidad del recurso
- Canteras en producción

Restricciones:

- Ubicación geográfica alejada de las áreas con necesidades.

7.2. OTROS MICRONUTRIENTES

La principal característica de los elementos químicos utilizados como micronutrientes es la necesidad de los suelos de poseerlos en el orden de partes por millón (ppm). Cuando están ausentes deben aplicarse en dosis en general mínimas para cubrir su necesidad.

Además del boro, un elemento no metal, los micronutrientes de mayor utilización son elementos metálicos tales como cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y cinc (Zn). En general se los incorpora en distintas proporciones en las mezclas de fertilizantes, aunque en algunos casos suelen ser impurezas que portan las mismas menas minerales utilizadas para la elaboración de los fertilizantes.

Los yacimientos minerales de estos elementos metálicos abundan en el territorio argentino, aunque en la mayoría de los casos la incorporación al suelo no es a partir de minerales específicos sino de productos químicos que los porten, tales como sales, o

bien de otras rocas o minerales que los contengan como elementos traza o minoritarios. Existen casos particulares de incorporación al cultivo vía foliar o en semillas.

Cobre (Cu)

En general este elemento se agrega a las mezclas de fertilizantes como sulfato de cobre u óxido de cobre. Los principales minerales que los proveen son la calcopirita (CuFeS_2), calcosina (Cu_2S) y cuprita (CuO).

Hierro (Fe)

Es un elemento esencial para la síntesis de la clorofila. Es un integrante común de las menas fosfatadas, por lo cual no suele ser necesario su aporte de otra fuente mineral específica.

Manganeso (Mn)

Se aplica como sulfato o como óxido; la principal fuente mineral son los óxidos pirolusita y psilomelano.

Molibdeno (Mo)

Si bien la principal fuente de este elemento es el mineral molibdenita (sulfuro de molibdeno), en la agricultura se aplica como molibdato de sodio o molibdato de amonio.

Cinc (Zn)

Se utiliza en mezclas de fertilizantes, como sulfato u óxido. La principal fuente mineral es el sulfuro de cinc (blenda o esfalerita) o el subproducto del concentrado de cinc (óxido). En el caso del arroz, un cultivo muy sensible a la falta de Zn, la aplicación de cinc se puede realizar en el suelo, vía foliar o en tratamiento de semillas, siendo estas dos últimas las más eficientes (Fertilizar, INTA Pergamino, 2003).

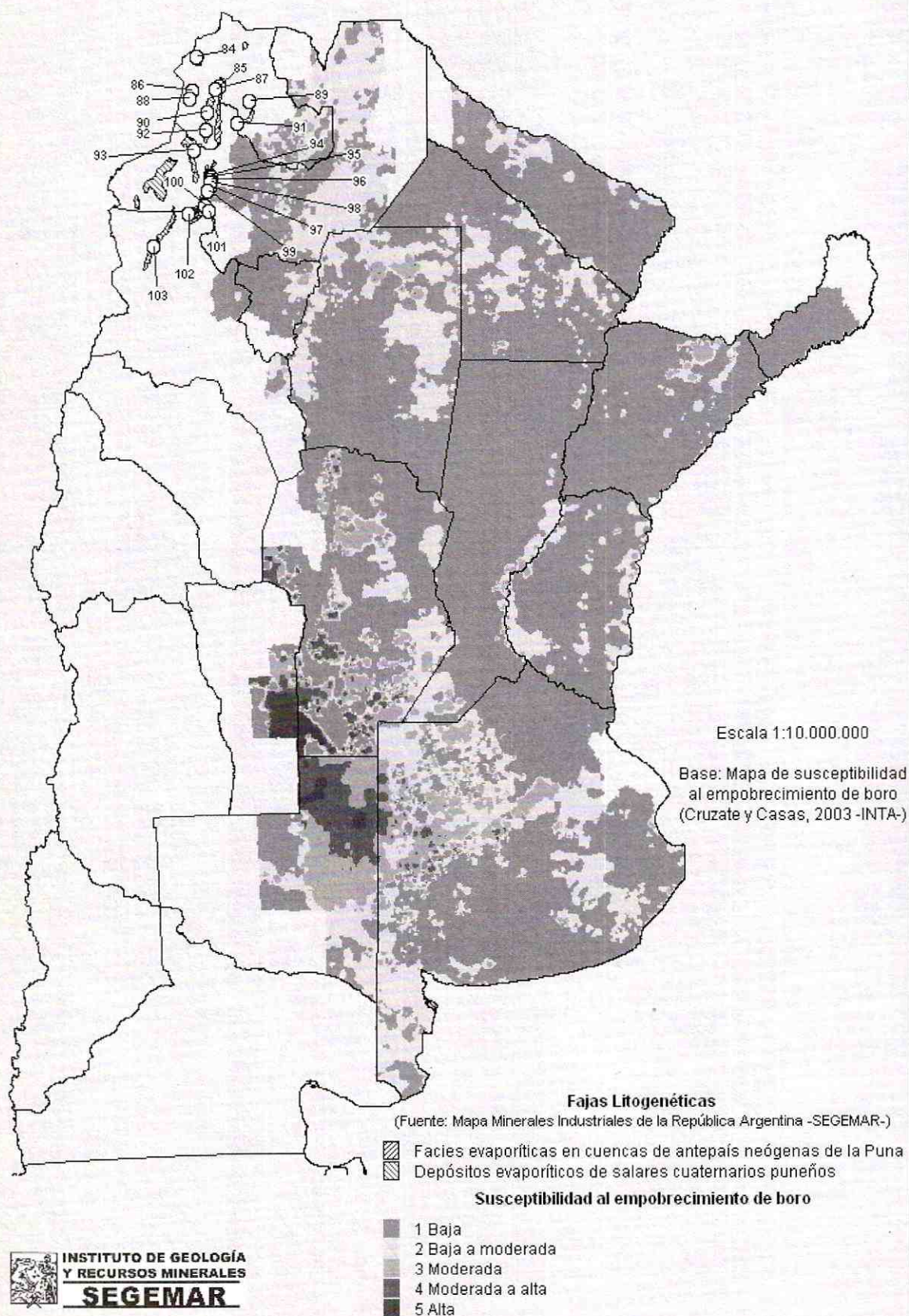
Yacimientos de boratos

Número	Latitud S	Longitud O	Sustancia	Yacimientos
84	22° 33'	66° 52'	Boratos	Boratera Vilama, Cerro Tinte
85	23° 04'	66° 27'	Boratos	Loma Blanca
86	23° 07'	66° 58'	Boratos	Lina Lari
87	23° 08'	66° 32'	Boratos	Turi Lari, Pujis, Celti
88	23° 16'	67° 01'	Boratos	Jama, San Felipe, San Francisco
89	23° 21'	65° 52'	Boratos	Grupos: Buenos Aires, Córdoba, Jujuy y Salta, otras
90	23° 31'	66° 42'	Boratos	Mario, Eduardo Daniel, Lisandro
91	23° 42'	66° 08'	Boratos	Niño Muerto, Walterio, San Francisco
92	23° 50'	66° 44'	Boratos	Porvenir, Alsina, Ataco, Moreno, San Esteban, Sarmiento y otras
93	24° 10'	66° 58'	Boratos	La Nuestra, Carolina
94	24° 39'	66° 40'	Boratos	Sol de Mañana
95	24° 40'	66° 39'	Boratos	Esperanza
96	24° 43'	66° 40'	Boratos	Monte Verde
97	24° 50'	66° 41'	Boratos	San Mateo, San Marcos
98	24° 46'	66° 40'	Boratos	Monte Marrón
99	24° 55'	66° 43'	Boratos	Maggie
100	25° 10'	66° 48'	Boratos	Ratones I y II
101	25° 16'	66° 43'	Boratos	Entrerriana, Santo Domingo
102	25° 19'	67° 06'	Boratos	Alberto, Centenario, La Jujeña
103	25° 51'	67° 47'	Boratos	Salar de Antofalla

REGIONES BORATÍFERAS DE LA ARGENTINA**PUNA**

Características	<ul style="list-style-type: none"> • Capas de boratos, en algunos casos con yeso o tufitas, de espesores variables entre milimétricos y 2 metros, aunque en general de 0,50 a 1 metro y longitudes del orden del centenar de metros. Tincalayu es un manto único de 30 metros de espesor, 1.000 metros de largo y 100 a 150 metros de ancho, con boratos intercalados con lentes de sal y tufitas. • En salares: acumulaciones de boratos en láminas delgadas, como nódulos, barras o en estructura maciza, entre niveles de material arenoso, limoso o arcilloso, aflorantes o cubiertas por delgadas capas de eflorescencias salinas o material detrítico. • Calidad: 12 a 20 % B_2O_3 (ley media en yacimiento); hasta 28 % B_2O_3 (en "papas"); hasta 35 % B_2O_3 (mineral beneficiado). • Explotación: a cielo abierto, en canteras por banqueo. En los salares puede ser manual o semi-mecanizada. • Usos: manufactura de vidrios, vidrios especiales, insumos industriales. El consumo agrícola es muy subordinado. • Potencial de uso agrícola
Geología	<ul style="list-style-type: none"> • Boratos en los miembros pelítico y boratífero de la Formación Sijes (Mioceno) y en menor proporción en la sección evaporítica de la Formación Pozuelos. Boratos en el subambiente clástico-evaporítico de salares cuaternarios. • Modelo de depósito: evaporitas lacustres. • Fajas litogénicas: facies evaporíticas de depósitos sinorogénicos en cuencas de antepaís neógenas de la Puna (boratos de edad terciaria); depósitos evaporíticos de salares cuaternarios puneños (boratos de edad cuaternaria).
Principales yacimientos: Loma Blanca (Jujuy), Tincalayu y Sijes (Salta).	
Producción: 500.000 toneladas anuales.	

RECURSOS DE BORATOS PARA LAS NECESIDADES DE BORO



CAPÍTULO VIII

SUSTANCIAS MINERALES PARA SUSTRATOS

8.1. CEOLITAS

8.1.1 EL GRUPO MINERAL CEOLITAS

Las ceolitas conforman un grupo mineral de aluminosilicatos hidratados de elementos alcalinos y alcalinotérreos, que presentan la fórmula estructural $(\text{Na}_2\text{K}_2, \text{Ca}, \text{Ba})[(\text{Al}, \text{Si})\text{O}_2]_n \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (Deer *et al.*, 1996). Se caracterizan por su continua, y en parte reversible, deshidratación, y por sus propiedades de intercambio de bases.

La estructura de todas las ceolitas está conformada por una celda tetraédrica de $(\text{Al}, \text{Si})\text{O}_4$, donde cada oxígeno está enlazado a dos tetraedros; la carga negativa de la celda es balanceada por la presencia de cationes, en la mayoría de los casos Ca, Na o K. Esta estructura es semejante a la de feldespatos y feldespatoides. La diferencia entre ellos radica en el tamaño de los espacios que existe en las celdas tetraédricas y entre ellas. Las ceolitas presentan la estructura más abierta, con mayores cavidades y canales, que le confieren gran capacidad de intercambio iónico y absorción molecular.

Las ceolitas son combinaciones hidratadas, y las moléculas de agua alojadas en los canales formados entre las celdas se encuentran débilmente ligadas, de manera que pueden desprenderse por el calor de modo continuo sin que se afecte la red cristalina.

En la naturaleza las ceolitas aparecen en amígdalas y fisuras, principalmente en rocas volcánicas básicas, y también en vetas de origen hidrotermal tardío, en ciertos yacimientos de magnetita, en las calizas metamórficas de contacto y como formación reciente de algunas termas. En algunas rocas ígneas se generan como producto de alteración de feldespatos o nefelina; son conocidas como minerales autígenos en areniscas y otras rocas sedimentarias. Las mayores acumulaciones (con posibilidad de explotación económica) se dan por alteración de materiales volcánicos depositados en cuencas pequeñas (tobas ceolitizadas).

8.1.2. APLICACIÓN DE CEOLITAS EN AGRICULTURA

Las ceolitas naturales son usadas en la agricultura como agente preservante, como acondicionador de suelos y como portador de fertilizantes, herbicidas, pesticidas y funguicidas.

Experiencias realizadas en Cuba en los últimos años sobre la inclusión de ceolitas en mezclas NPK indicaron que mejoraron las propiedades físico-mecánicas de estos fertilizantes químicos (Soca *et al.*, 2002).

En dichas experiencias la inclusión de ceolitas en la formulación de fertilizantes químicos en proporcio-

nes del orden de 10 a 25 % redujo en similar proporción los costos de elaboración de fórmulas NPK; además la compactación de las mezclas NPK con ceolitas se redujo en un 50 %, con gran efecto en el almacenamiento del producto. Los rendimientos obtenidos en las áreas tratadas con fórmula NPK con ceolitas superaron al testigo en el orden de 10 a 20 %.

Por otra parte, su gran capacidad de intercambio catiónico actúa favorablemente en el control de la liberación lenta de nutrientes. Asimismo, su alta capacidad de retención de agua lo hace un elemento de gran utilidad en la preparación de sustratos para cultivos.

8.1.3. RECURSOS DE CEOLITAS EN LA ARGENTINA

En la Argentina no se registra producción de ceolitas; sin embargo recientemente se han reconocido acumulaciones de interés económico en los depósitos piroclásticos terciarios de Paganzo, provincia de La Rioja. Geológicamente son secuencias lagunares de cubetas intermontanas. El desarrollo de cuencas de antepaís neógenas con aporte de material volcánico tuvo lugar a lo largo del sector centro y norte del país, constituyendo un ambiente favorable para la ocurrencia de este tipo de depósitos. También existen numerosas manifestaciones de ceolitas en rocas volcánicas distribuidas en diversas regiones del país, aunque sin posibilidad de explotación debido al escaso volumen del recurso.

8.1.3.1. Región de Paganzo

Los depósitos de ceolitas se localizan en el departamento Independencia, provincia de La Rioja, al sur de la localidad de Paganzo, en las proximidades del puesto Vinchinita. Se destacan los depósitos de Agua Blanca y El Médano.

Desde la ciudad de La Rioja se accede por ruta nacional 38 hasta la localidad de Patquía, se continúa por ruta provincial 26 hasta Paganzo, donde se desvía hacia el sur hasta el puesto Vinchinita. Desde allí, por huellas de herradura se alcanzan los depósitos de interés. Actualmente no registran producción.

Los depósitos de ceolitas forman parte de extensos afloramientos terciarios de tobas y tufitas existentes al este y oeste del cerro Yesero (Carrizo y Donnari, 2003). Consisten de potentes niveles de toba vítrea blanquecina. En Agua Blanca el paquete de tobas vitrocrystalinas tiene una potencia de 8 metros con un nivel continuo de toba ceolitizada de 1,2 metros de espesor, que aflora a lo largo de 4,5 km y presenta un

rumbo general N 318° y buzamiento de 12 a 15° en el sector norte y 40 a 55° en el sector sur. En El Médano el nivel de tobas ceolitizadas tiene un metro de potencia, con una corrida de 250 metros y orientación N 65° E / 78° SE.

La mineralogía de las ceolitas es clinoptinolita-heulandita presentes como material de alteración de vitroclastos; también se identificaron vestigios de illita en la fracción menor a 3,9m. En la actualidad, este material está siendo objeto de estudios en el Instituto de Tecnología Minera del Servicio Geológico Minero Argentino.

8.2. PERLITA

8.2.1. PERLITA: VIDRIO NATURAL HIDRATADO

Las perlitas son vidrios naturales enriquecidos en agua. Incluyen obsidianas hidratadas y de bajo contenido en agua, ceniza volcánica hidratada o pumicita y rocas perlíticas. Se acepta como definición clásica de perlita la de vidrios que se diferencian del resto por su contenido de agua, que es del orden del 2 a 5%, brillo perlado y -en una definición descriptiva- por la presencia de fractura perlítica (estructura de tipo cebolla). Geológicamente, el término debe extenderse para incluir las texturas menos densas de perlitas que están genéticamente relacionadas con la variedad clásica pero que raramente exhiben estructura esferoidal a escala microscópica, y no exhiben brillo perlado o fracturas perlíticas macroscópicas.

La mayoría de las obsidianas silíceas contienen entre 0,1 y 1,0% de agua total, como SiOH dentro de la estructura silícea. Es raro que vidrios recientes se encuentren muy hidratados; los vidrios más viejos ocurren principalmente como perlitas. Las perlitas serían vidrios volcánicos hidratados formados por alteración secundaria de obsidianas, al incorporarse agua a la estructura silícea del vidrio.

Las perlitas expanden más de diez veces su volumen original cuando son calentadas (generalmente entre 650° y 1.000°C). Esta propiedad es causa del agua contenida en su estructura molecular. La perlita es un material liviano (al expandirse disminuye su densidad a 0,35 - 0,80 gr/cm³), inerte, atérmico y antisonoro. En el tratamiento industrial, el mineral convenientemente reducido y clasificado, y luego calentado a tempe-

raturas cercanas a 1.000° C, se convierte en livianas partículas esféricas que contienen aire en su interior. La densidad de la perlita expandida es 15 veces menor que la de arena, 8 veces menor que la de arcilla expandida y 6 veces menor que la del granulado volcánico. Las partículas de perlitas expandidas también son insolubles, de tamaños irregulares y completamente inertes y livianas. Cuenta con gran número de usos en variadas industrias, entre ellas la construcción, química, alimentaria, siderúrgica, saneamiento ambiental, y también se utiliza en agricultura.

8.2.2. APLICACIÓN DE PERLITA EN AGRICULTURA

La principal aplicación es como parte integrante de sustratos para cultivos, acompañando turba, humus y otros productos. Es muy aplicada en producción orgánica y horticultura, aunque no exclusivamente. También se utiliza como soporte de abonos y defensivos.

8.2.3. RECURSOS DE PERLITA EN LA ARGENTINA

Los depósitos de vidrio volcánico hidratado con capacidad de expansión (perlitas) existentes en América del Sur se localizan principalmente en la provincia geológica Puna. En Argentina los yacimientos de mayor importancia se ubican en el noroeste de la provincia de Salta, más precisamente en las inmediaciones de San Antonio de los Cobres y Estación Pocitos. En este caso las perlitas yacen como cuerpos dómicos de estructura masiva o como coladas lávicas de estructura estratiforme, asociadas a los extremos más ácidos del volcanismo calcoalcalino que tuvo lugar en la región durante el Mioceno superior y Plioceno. De las unidades generadas por tal evento volcánico, las lavas mesosilíceas, principalmente los extremos riolíticos, y los depósitos piroclásticos asociados de la Formación Rumibola, son los que albergan depósitos perlíticos.

8.2.3.1. La región de Puna

En la provincia de Salta los depósitos de perlita más importantes se encuentran en el departamento Los Andes, en el noroeste de la provincia. Se destacan

Área	Cantera	Producción (t)
Quebrada de Quirón	Taurus	999
	Acuyico	2.071
	Ángel del Infierno	2.454
	Mariana	2.058
Quebrada de la Rupasca	Cristina	3.243
La Ramada	La Pava	10.670

Fuente: Secretaría de Minería de la provincia de Salta.

Tabla 25. Distribución de la producción de perlita en la provincia de Salta en el año 1998

Distrito	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Humedad 110°C	Perd. a 1000°C	Densidad aparente	Densidad real	Reservas (t)
Quirón*	69,82	0,91	2,9	4,62	1,10	0,6	4,1	1,34 g/cm ³	2,35 g/cm ³	6.2 Mt; 2.3 Mt (inferidas) (Quartino <i>et al.</i> , 1971)
Rupasca°	75,05	0,45	2,84	4,85	0,81	4,32				
	75,84	0,35	3,31	4,65	0,81	2,78				
Ramada°	74,14	0,66	4,14	4,24	0,59	2,11				
Arizaro°	73,89	0,45	4,54	3,73	0,81	2,52				
	71,50	0,04	3,38	4,13	1,48	4,38				

Fuente: (*) Ramallo (1999); (°) Dirección Nacional de Economía Minera y Desarrollo (1997)

Tabla 26. Composición química (%) y características físicas de perlita de distritos de la provincia de Salta.

cuatro áreas, ellas son: Quebrada de Quirón, al suroeste del cerro Azufre y a 20 km al sudeste de la Estación Pocitos; Quebrada de la Rupasca, a 45 km al sudsudeste de San Antonio de los Cobres; La Ramada, ubicada a 15 km al norte de la localidad anterior y por último la Vega de Arizaro (Schalamuk *et al.*, 1983; Ramallo, 1999).

La provincia de Salta es la principal productora de perlita del país, alcanzando un total de 21.495 t en el año 1998; 17.521 t en el año 2000 y 14.464 t (estimadas) en el año 2002, de acuerdo con datos de la Estadística Minera de la República Argentina. Los yacimientos se explotan en canteras, a cielo abierto. En la tabla 25 se observa la distribución de la producción, de acuerdo con la Secretaría de Minería de la Provincia de Salta, en el año 1998.

En el área de Quebrada de Quirón los depósitos ocupan los sectores más elevados, distribuidos entre bloques y brechas de rocas andesíticas rojizas de la Formación Rumibola. Las rocas vítreas se dividen en: a) Obsidias presentes como fragmentos detríticos con una proporción vítrea de 98%, incoloro, con inclusiones de albita y biotita. b) Rocas hialofibrosas, poseen un 95% de vidrio volcánico, son livianas, porosas, color caramelo, textura fluidal dada por bandas orientadas de vesículas, glóbulos y clorita ferruginosa. c) Perlitas, roca vítrea que debido a su microfracturamiento no posee una expresión de superficie, es de color amarillo grisáceo, verde y castaño de tonos claros, brillo resinoso a vítreo y a veces mate con fractura concoide. Las perlitas *sensu stricto* poseen una fractura perlítica (curva hasta esférica) y no tienen estructura de flujo; están compuestas por un 95% de vidrio con biotita, albita y escaso cuarzo. d) Rocas semiperlitas, son transicionales a las anteriores con características de fluidalidad (alineamiento de impurezas, formas elementales de cristalinidad, y glóbulos y microvesículas alarga-

dos). En las canteras Taurus y Anfitrite el material perlítico alcanza 40 metros de potencia y en su tercio superior se encuentran bochas y concreciones de andesitas gris claras, el resto del cuerpo presenta bandas grises y rojizas en un material color verde claro. Cubren el depósito tobas alteradas y conglomerado rojo.

En el área de la Quebrada de La Rupasca las perlitas ocurren como cuerpos dómicos asociados a rocas ácidas y lentes andesíticos; son de color gris, con aspecto sedoso, textura masiva y fractura concoide.

En el área de La Ramada las perlitas y obsidias granatíferas se presentan en forma de coladas lávicas, asociadas a depósitos piroclásticos de composición riolítica, dentro de los límites de una caldera. Aquí las perlitas masivas se asocian a una yacencia cómica, mientras que las estratiformes se asocian a material piroclástico.

Vega de Arizaro, es una estructura cómica que constituye el cerro Amarillo, desde el que fueron emitidas algunas coladas de formas ameboidales; tanto el edificio como sus coladas están constituidos por material vítreo perlitzado de color blanco rosado. No fueron desarrolladas labores de exploración ni explotación. La composición química y datos físicos de perlita de varios yacimientos de la provincia de Salta se observan en la tabla 26.

En la provincia de Catamarca, el depósito de mayor importancia se ubica en la ladera oriental del volcán Antofalla, en la Puna austral. Existen además otros yacimientos como los de Vega de Hombre Muerto, Organullo y Acay, aunque de menor interés económico. Reconocimientos preliminares del depósito de Antofalla indican que se trata de cuerpos y coladas perlitzadas con coloración gris blanquecina, marcadamente fluidal. Las perlitas presentan bloques y bandas de obsidias, lo cual genera problemas para su beneficio. No obstante la escasa información geológica

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	H ₂ O*
74,20 a 75,90	0,00 a 0,18	3,36 a 3,51	4, 23 a 4,31	1, 14 a 1,17	0,58 a 2,82

Fuente: Dirección Nacional de Economía Minera y Desarrollo, 1997

Tabla 27. Composición química (%) de perlita en el yacimiento de Antofalla, provincia de Catamarca.

existente, es un distrito potencialmente importante; la composición química de la perlita se observa en la tabla 27.

8.3. VERMICULITA

8.3.1. EL MINERAL VERMICULITA

Es un filosilicato cuya composición química responde a la fórmula $(\text{Mg}, \text{Ca})_{0,6-0,9}(\text{Mg}, \text{Fe}^{+3}, \text{Al})_6[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. La vermiculita tiene similitudes con las micas trioctaédricas y las esmectitas. El nombre del mineral deriva de la palabra latina *vermiculus*, que significa “gusanos”, en alusión a la peculiar exfoliación exhibida cuando la vermiculita es calentada rápidamente por encima de los 870° C. La celda unidad de la vermiculita contiene una capa de agua que al eliminarse por calor fuerza la separación de las capas de manera perpendicular al clivaje, provocando expansión tipo “acordeón”.

Teóricamente la vermiculita pura puede expandirse 30 y hasta 40 veces en su volumen original, sin embargo el mineral extraído del yacimiento generalmente expande entre 8 y 12 veces su volumen original. Este fenómeno le otorga al mineral baja densidad (pasa de 0,640 g/cm³ a 0,056 g/cm³).

La vermiculita se forma como producto de alteración de biotita, por meteorización o por acción hidrotermal. También es común en zonas de contacto entre un intrusivo ácido y rocas básicas o ultrabásicas. En tales casos, el mineral se encuentra asociado con corindón, apatito, serpentina, clorita o talco. La vermiculita también puede asociarse con carbonatitas y calizas metamorfizadas.

8.3.2. APLICACIÓN DE VERMICULITA EN LA AGRICULTURA

La principal aplicación, al igual que la perlita, es como parte integrante de sustratos para cultivos, acompañando turba, humus y otros productos. Es muy aplicado en producción orgánica y horticultura, aunque no excluyentemente. Puede absorber grandes volúmenes de líquidos tales como fertilizantes, herbicidas e insecticidas, encontrando por ello un importante campo de aplicación en la industria agrícola.

8.3.3. RECURSOS DE VERMICULITA EN LA ARGENTINA

En la Argentina los depósitos de vermiculita se circunscriben a dos regiones: Precordillera y Sierras

Pampeanas. En el ámbito precordillerano, más precisamente en las proximidades de la ciudad de Mendoza, la vermiculita se presenta en vetas de hasta 8,5 metros de ancho asociadas con cuerpos de lamprófiros que encajan en metamorfitas del Grupo Villavicencio. En el ámbito de Sierras Pampeanas, si bien existen manifestaciones de vermiculita en el flanco oriental de la sierra de Usno (San Juan) y en la sierra de Comechingones (San Luis), los depósitos de mayor interés se circunscriben a la sierra de Comechingones y al faldeo occidental de la Sierra Chica en la provincia de Córdoba. En todo los casos la formación de los depósitos se asocia al contacto entre rocas graníticas y pegmatíticas con las metamorfitas de la caja, con excepción del yacimiento Los Guanacos, en el faldeo oriental de la sierra de Comechingones de Córdoba, donde se encuentran asociados al contacto de un intrusivo básico (serpentinita) con los gneises, anfibolitas y mármoles de la caja. En la actualidad la provincia de Córdoba cuenta con una decena de yacimientos en explotación, que alcanza aproximadamente 400 t mensuales.

8.3.3.1. Precordillera

En el ámbito de Precordillera se destaca la mina Don Alberto ubicada en las proximidades de Pampa Casa de Piedra, 45 km al noroeste de la ciudad de Mendoza; con acceso por ruta provincial 13.

El yacimiento no se ha explotado pero cuenta con labores de exploración con la apertura de 43 destapes, muestreos, análisis químicos y físicos. La composición química y sus reservas se observan en la tabla 28.

La mineralización se encuentra en filones capas de lamprófiros ultramáficos que intruyen rocas del Grupo Villavicencio. En la zona existen varias vetas pero se reconocen a 5 de ellas como las más importantes, en general tienen 200 metros de largo, están desplazadas por fallas transversales, y pueden alcanzar 8,5 metros de ancho (Fusari, 1999).

En el depósito se determinó, en superficie, un contenido de fenocristales de vermiculita de alrededor de 50 % (Lavandaio, 1993). La vermiculita es producto de alteración de la biotita de la roca básica; no se ha determinado si esa alteración continúa en profundidad.

8.3.3.2. Sierras Pampeanas

La provincia de Córdoba posee tres zonas con depósitos de vermiculita de interés minero: a) *Los Guanacos*, ubicada al pie de la ladera oriental de la sierra de Comechingones, 35-40 km al sudoeste de la villa Santa

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Álcalis	Pérdida por calc.	Reservas	Contenido de vermiculita
31,68	7,72	15,08	5,18	20,29	1,01	11,01	126.000 t	50%

Tabla 28. Composición química (%) y reservas de vermiculita del yacimiento Don Alberto.

Rosa de Calamuchita y entre 12 y 15 km al sur de Yacanto, allí se encuentran las minas Los Guanacos, Árbol Seco y 25 de Mayo antiguamente explotadas por cromita; b) *San Roque-Amboy*, 30 km de Santa Rosa de Calamuchita con las minas Trinidad y San Antonio; c) *Potrero de Loza*, paraje situado a 20 km al sud-sudeste de la localidad de La Falda, en el valle de Punilla, próximo a la vertiente occidental de la Sierra Chica, donde se reconocen, entre otros, los yacimientos San Luis, Evelina, La Saltona e Ing. Anibal Monte.

En la zona de Los Guanacos el basamento metamórfico está intruido por diques y filones pegmatíticos y por un cuerpo serpentinitico que conforma el cerro Los Guanacos, área donde se presentan los depósitos de vermiculita. La mineralización se concentra en cuerpos ubicados en el contacto de la serpentinita con las metamorfitas y pegmatitas cubriendo un área de algunos centenares de metros de longitud y 10 metros de ancho; conforman bolsones, lentes y nidos de decímetros de espesor con vermiculita de hábito laminar escamoso, en individuos de 0,5 a 2 cm. El material de interés es de color verde oscuro, pardo y pardo amarillento, está asociado a material caolínico (producto de la alteración de los feldespatos), asbesto, esteatita (talco) y biotita desferizada. Su composición química se observa en la tabla 28.

En la zona de San Roque-Amboy gneises y migmatitas están intruidos por filones capa de cuarzo y diques pegmatíticos, en cuyos contactos se producen las con-

centraciones de vermiculita. En la mina Trinidad los agregados de vermiculita se presentan en lentes y pequeñas "vetas" con espesor que varía entre centímetros y 1,2 m y largo de 3 a 4 metros; la mineralización consiste en agregados hojosos, de color negro verdoso y pardo amarillento con láminas minerales menores a 1 cm (ver composición química en la tabla 30). La mina "San Antonio" presenta bolsones de hasta 10 metros de largo y 0,1 a 0,5 metros de potencia constituidos por agregados hojosos con alto contenido mineral, cuyas láminas de vermiculita tienen hasta 2 centímetros de largo y color verde oscuro a negro, asociadas a un material blanco producto de alteración de feldespatos.

En Potrero de Loza las metamorfitas del basamento están surcadas por filones capa y diques aplítico-pegmatíticos. En una faja meridional de aproximadamente 4 km de largo se disponen todos los depósitos y manifestaciones. En la mina "San Luis" existen 3 cuerpos mineralizados, separados 2-3 metros, espesor entre 0,2 ("bolsones") y 0,6 metros ("nidos"). Inmersos en la masa de vermiculita se encuentran pequeños lentes de anfíbolitas, esteatita y "jaboncillo" de falla. Los tres cuerpos están orientados subparalelamente en dirección norte-sur y se extienden 60 metros. La vermiculita se presenta en masas escamosas de color verde oscuro o pardo amarillento. Está asociada a biotita y a hidróxidos de hierro. Las escamas son pequeñas (3 a 5 mm).

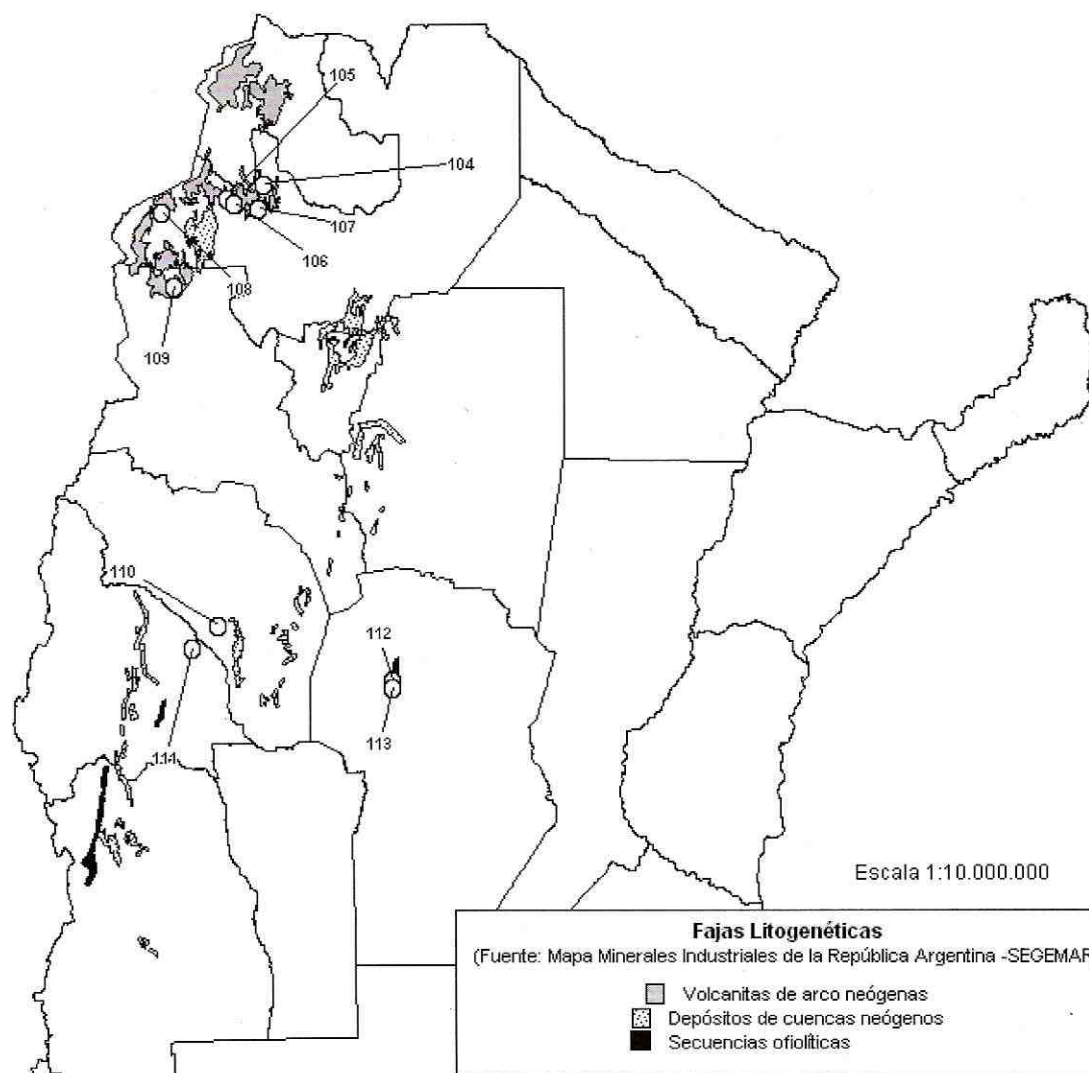
Yacimiento	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Álcalis	ppc
Los Guanacos	38,4	16,0	27,9	1,3	10,8	0,5	4,5

Tabla 29. Composición química (%) de vermiculita del yacimiento Los Guanacos, provincia de Córdoba.

Yacimiento	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Álcalis	ppc
Trinidad	51,5	17,2	11,6	1,5	9,5	3,6	3

Tabla 30. Composición química (%) de vermiculita en San Roque-Amboy, provincia de Córdoba.

RECURSOS DE PERLITA, CEOLITAS Y VERMICULITA PARA SUSTRATOS Y ENMIENDAS



REFERENCIAS



Yacimientos de perlita, ceolitas y vermiculita

Número	Latitud S	Longitud O	Sustancia	Yacimientos
104	24° 07'	66° 19'	Perlita	El Pato, La Pava, Anta, Ciervo, Guanaco, El Suri
105	24° 19'	66° 52'	Perlita	Mariana
106	24° 24'	66° 48'	Perlita	Anfitite, Criollita, Victoria, Taurus, Quirón
107	24° 28'	66° 25'	Perlita	Tina, Justa
108	24° 28'	67° 53'	Perlita	Los Volcanes, Lurgo I - II - III
109	25° 30'	67° 43'	Perlita	Antofalla
110	33° 13'	67° 12'	Ceolitas	Agua Blanca, El Médano
111	33° 31'	67° 37'	Vermiculita	Loma Blanca (Grupo Sol de Mayo)
112	31° 01'	64° 25'	Vermiculita	La Saltona
113	31° 07'	64° 25'	Vermiculita	Evelina

BIBLIOGRAFÍA CITADA EN EL TEXTO

- Alonso, R. N. y J. Viramonte. 1993. La cuestión genética de los boratos de la Puna. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas, 5: 187-194
- Angelelli, V. 1975. Yacimientos minerales y rocas de aplicación. Geología de la provincia de Buenos Aires, VI Congreso Geológico Argentino; Relatorio: 195-217.
- Angelelli, V., I. Schalamuk y A. Arrospide. 1976. Los yacimientos no metalíferos y rocas de aplicación de la región Patagonia-Comahue. Secretaría de Estado de Minería, Anales 17.
- Angelelli, V., I. Schalamuk y R. Fernández. 1980. Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región centro-cuyo. Ministerio de Economía, Subsecretaría de Minería. Anales XIX, Buenos Aires.
- Angelelli, V. y I. Schalamuk. 1981. Yacimientos no metalíferos y rocas de aplicación. Geología de la provincia de San Luis, VIII Congreso Geológico Argentino; Relatorio: 265-286.
- Ávila, J. J., J. E. Lazarte, M. Gianfrancisco y A. S. Fogliata. 1999. Yacimiento de calizas Peñas Azules, Tucumán. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 317-318, Buenos Aires.
- Balod, M. 1999. Proyecto Potasio Río Colorado, Mendoza-Neuquén. En: Recursos Minerales de la República Argentina. Zappettini, E. Ed. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1077-1081. Buenos Aires.
- Balod, M., A. Cámpora y J. Colomé. 2000. Proyecto Potasio Río Colorado. Revista de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas N° 12: 5-11.
- Bonalumi A. 2003. Nueva terminología, especialmente explicada para la comunidad minera argentina y relacionada con el consumo de los minerales en los suelos cultivables (para uso exclusivamente minero). Inédito.
- Bengochea, J. D. y V. Padula. 1993 Evaluación Geológica-Económica del proyecto Potasio Río Colorado, Mendoza, Argentina. Actas del V Congreso de Geología Económica: 253-261
- Beninato, M. A. 1999. Yacimientos de calizas de San Luis. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 297-302, Buenos Aires.
- Bruna, M. A., 1991. Recursos calcáreos del Departamento Zapala. Calizas y Piedra Laja. Panorama Minero N° 160: 34-38.
- Carrizo, R. y E. Donnari. 2003. Potencial económico de ceolitas en el distrito Paganzo, La Rioja. Informe inédito. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR.
- Castro, L., R. Scasso y M. Alonso. 1996. Caracterización y génesis de los fosfatos sedimentarios «Patagónicos» del valle del río Chubut. 3° Reunión de Mineralogía y Metalogenia, 1: 87-90, La Plata.
- Castro, L. y A. Di Marco. 1997. Fertilizantes. Fuentes de abastecimiento, utilización, mercado y tendencias en el consumo. Revista de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas N° 11. p. 5-13.
- Castro, L., Zubillaga, M., R. Lavado, R. Scasso, P. Miretsky y A. Fazio. 1998. Efectividad agronómica de la aplicación directa de rocas fosfáticas comparada con la del superfosfato. Actas del X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, vol. III (314-318).
- CORMINE S.E.P., 1993. Proyecto Potasio. Potencial Neuquino. Informe Inédito. Gobierno de Neuquén.
- Cruzate, G. A. y R. Casas. 2003. Balance de Nutrientes. Revista Fertilizar INTA Año 8, Número especial "Sostenibilidad". ISSN 1666-8812. p. 7 a 13.
- Dangavs, N. V., 2001. El depósito de yeso del arroyo Poronguitos, General Belgrano, Buenos Aires. VII Congreso Argentino de Geología Económica; Salta, Actas 2, p. 73-77.
- Dangavs, N. V. y Blasi, A. M., 2002. Los depósitos de yeso intrasedimentarios del arroyo El Siasgo, partidos de Monte y General Paz, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57 (3): 315-327.
- Deer, W. A., R. A. Howie and J. Zussman. 1996. An introduction to the rock-forming minerals (2nd Ed.). Longman, England.
- Dominguez, E. y I. Schalamuk. 1999. Recursos minerales de las Sierras Septentrionales, Buenos Aires. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 183-190, Buenos Aires.
- Espejo, P. 1999. Calizas y dolomías del departamento Valcheta, Río Negro. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1407-1419, Buenos Aires.
- Etcheverry, R. O. 1999. Depósitos de yeso y halita jurásico-cretácicos, Mendoza y Neuquén. En: Re-

- cursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1091-1093, Buenos Aires.
- Fernández, R. 1983. Nuevos hallazgos de rocas fosfáticas marinas en la Cordillera Oriental de la provincia de Jujuy, República Argentina. Segundo Congreso Nacional de Geología Económica. San Juan. Tomo 1.
- Gambaudo, S. 2002. La acidez del suelo en la región pampeana argentina. En: Fertilizantes y Enmiendas de origen mineral. Publicación del CyTED.
- Gamundi, C. E. y J.C. Martensen. 1999. Yacimientos de yeso de Tucumán. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1761-1767, Buenos Aires.
- Gabriele, N. 1992. Sales de Potasio de la Formación Huitrín (Cretácico Inferior), Provincias de Neuquén y Mendoza. República Argentina. Informe Inédito. Dirección Provincial de Minería. Neuquén.
- Gabriele, N. 1999. Cuenca Potásica Huitriniana, Neuquén. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35 : 1083-1089. Buenos Aires.
- Gozalvez, M., C. J. Herrmann y E. Zappettini. 2004. Minerales Industriales de la República Argentina. Anales 39 del Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. ISSN 1666-3462. Versión CD.
- Herrmann, C. J. y E. Menoyo. 1999. Yacimientos de calizas y dolomías de la Precordillera, San Juan y Mendoza. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 697-712, Buenos Aires.
- Herrmann, C. J., 2003. Sitios aptos para la extracción de yeso en Piedras Blancas, Entre Ríos. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, informe Inédito. Buenos Aires.
- Herrmann, C. J., M. Frigerio y A. Giusiano. 2003. Potasio en Neuquén. Evaluación del Recurso en el Área de Exclusividad Provincial. Convenio SEGEMAR - Subsecretaría de Energía y Minería de la provincia del Neuquén.
- Instituto Argentino de Normalización (IRAM), 1997. Norma 22451. Materiales calcáreos para uso agropecuario. Requisitos y métodos de ensayo.
- Leanza, H., C. Hugo y A. Spiegelman. 1975. Manifestaciones fosfáticas en la Sierra de la Vaca Muerta y adyacencias, provincia del Neuquén. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica 2: 461-483, Buenos Aires
- Leanza, H., A. Spiegelman y C. Hugo. 1981. Manifestaciones fosfáticas de la Formación Patagonia: su génesis y relación con el vulcanismo piroclástico-silíceo. Revistas de la Asociación de mineralogía, petrología y sedimentología N° 11 (3-4):1-12.
- Leanza, H., A. Spiegelman, C. Hugo, O. Mastandrea y C. Oblitas. 1989. Phanerozoic sedimentary phosphatic rocks of Argentina. En: Phosphate rocks resources, (Eds. Notholt, J., Sheldon R. y Davidson, D. 2 (24):147-158. Cambridge.
- Marcos, O. R., 1999. Yacimientos de yeso de La Rioja. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1769-1771, Buenos Aires.
- Mastandrea, O., H. Leanza, C. Hugo y C. Oblitas. 1982. Prospección de fosfatos sedimentarios en la República Argentina. Quinto Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina, III:159-176.
- Monte, M., 2002. Zeolitas e Vermiculita: Funcion e Importancia na Capacitacao de Solos Agrícolas. En: Fertilizantes y Enmiendas de origen mineral. Publicación del CYTED. Buenos Aires.
- Pecora, E., 1968. La fertilización, los abonos y las enmiendas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, 118 p. Buenos Aires.
- Scasso, R., P. Bosch y L. Castro. 1998. Fosfogénesis, ambientes sedimentarios y cambios del nivel del mar: los fosfatos cenozoicos de Gaiman, provincia del Chubut, Argentina. Actas del X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, vol. III. p.207.
- Scasso, R., L. Castro, H. Lippai y M. Alonso. 1996. Significado estratigráfico y paleoambiental del conglomerado fosfático "Patagoniense" de Bryn Gwyn, Gaiman (Prov. del Chubut). 6° Reunión de Sedimentología 1: 117-122.
- Scasso, R., L. Castro, S. Tourn, Z. Fazio y N. Rubinstein. 2004. Utilización de los fertilizantes minerales. En <http://gl.fcen.uba.ar/grupos/fosfatos>.
- Soca, M., J. Castellanos y J. Febles. 2002. Efecto de la zeolita en la eficiencia de los fertilizantes químicos. En: Fertilizantes y Enmiendas de origen mineral. Publicación del CYTED. Buenos Aires.
- Straziscar, V. y R. Melgar. 2003. Yeso agrícola. FERTILIZAR - INTA Pergamino.
- Suayter, L. y A. Urdaneta. 1974. Estudio y evaluación de los depósitos de calcáreos y yeso de la Sierra de La Ramada y zonas adyacentes. Dirección Pro-

vincial de Minas. Boletín 1, 6p. Tucumán.

Sfragulla, J., D. Jerez y A. Bonalumi. 1999. Mármoles y otras rocas carbonáticas de Córdoba. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos minerales SEGEMAR, Anales 35: 271-295, Buenos Aires.

Schalamuk, I., R. Fernandez y R. Etcheverry. 1983. Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región NOA. Ministerio de Economía, Subsecretaría de Minería, Anales, 20, 196

p. Buenos Aires

Ramallo, E. 1999. Los depósitos de perlitas de Salta. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1747-1748, Buenos Aires

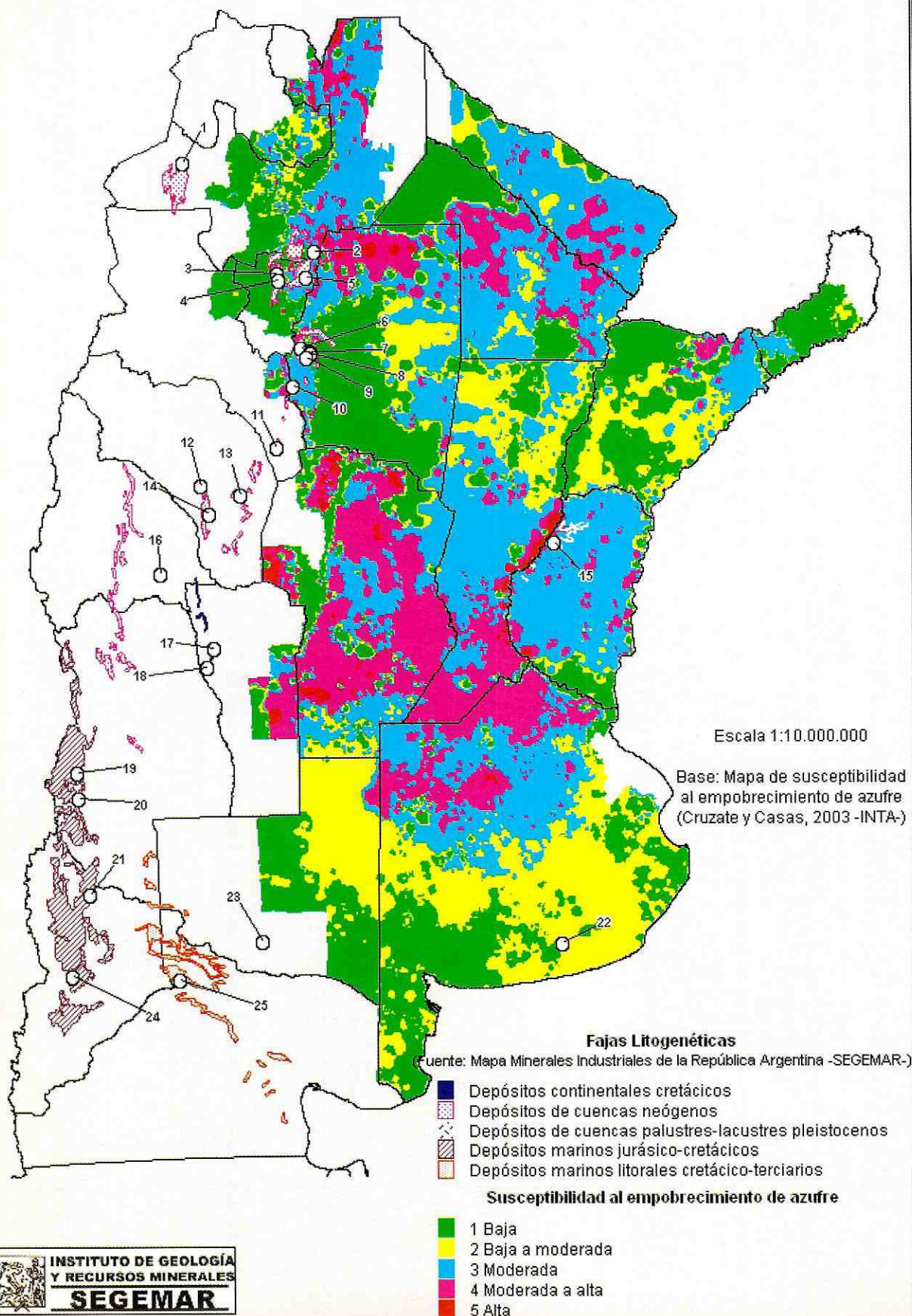
Quartino, B., R. Zardini, y R. Llorente. 1971. Estudio geológico económico de los yacimientos de perlita Taurus y Anfitrite, Salar de Pocitos, Provincia de Salta. 1^{er} Simposio Nacional de Geología Económica, Actas, 2:337-350

Listado de los principales yacimientos de minerales y rocas para el agro

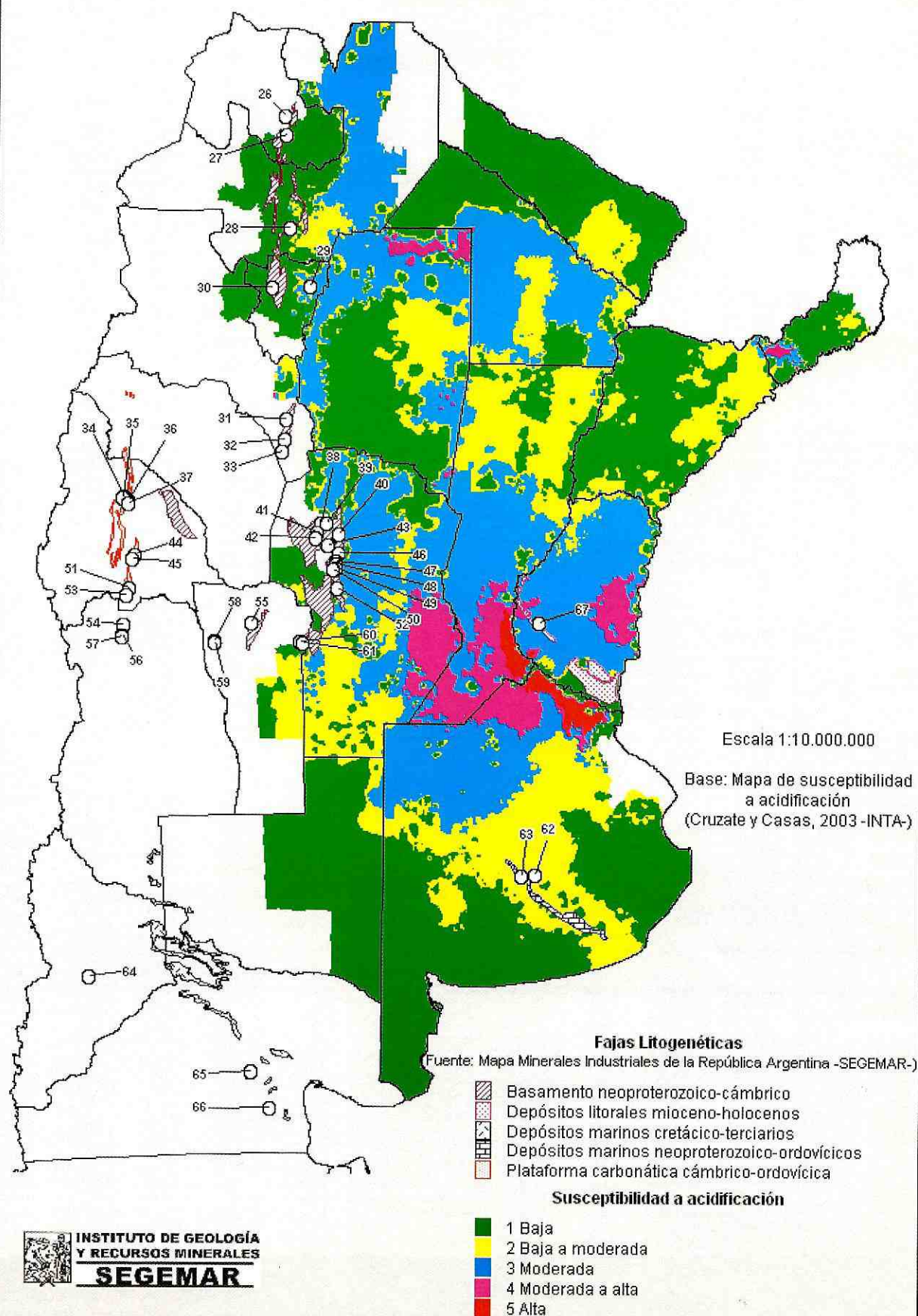
Número	Latitud	Longitud	Sustancia	Depósito
1	24° 27'	67° 09'	Yeso	Punta Negra
2	26° 03'	64° 38'	Yeso	Puente de Plata
3	26° 27'	65° 22'	Yeso	Vipos
4	26° 34'	65° 19'	Yeso	Tapia
5	26° 30'	64° 49'	Yeso	Compañía Minera del Norte S.R.L
6	27° 44'	64° 55'	Yeso	El Tableado
7	27° 49'	64° 45'	Yeso	El Jumial
8	27° 52'	64° 45'	Yeso	La Melita
9	27° 55'	64° 49'	Yeso	El Galpón
10	28° 26'	65° 05'	Yeso	Tres Pocitos
11	29° 30'	65° 26'	Yeso	Rossana
12	30° 09'	66° 58'	Yeso	Patquía Viejo I y II
13	30° 19'	66° 10'	Yeso	La Salvadora, Paz, Progreso
14	30° 39'	66° 49'	Yeso	Los Coloraditos, Yeso 1, 2 y 3, La Reforma-Cielito
15	31° 08'	59° 48'	Yeso	Tuyango, Cabrol, Aebi
16	31° 40'	67° 52'	Yeso	Las Aguaditas
17	33° 00'	66° 50'	Yeso	Canteras Recomar
18	33° 20'	66° 59'	Yeso	Cantera Lucho
19	35° 04'	69° 49'	Yeso	Cañada Ancha
20	35° 31'	69° 49'	Yeso	Campo de Los Militares
21	37° 13'	69° 42'	Yeso	Auquico
22	38° 10'	59° 19'	Yeso	Cuenca del Río Quequén-Salado
23	38° 11'	65° 57'	Yeso	Durlock S.A.C.I
24	38° 38'	70° 13'	Yeso	Sierra de Vaca Muerta
25	38° 48'	67° 49'	Yeso	Alto Valle
26	23° 37'	65° 24'	Caliza	Canteras Maimará, Adriana, Silvia, Eliseo, otras
27	23° 57'	65° 22'	Mármol cálcico	Cantera Volcán (Bárcena)
28	25° 37'	65° 19'	Mármol cálcico	La Calera, Ben Hur
29	26° 37'	64° 55'	Mármol cálcico	El Aserradero, El Cajón, El Naranjo, Río Nío, Villa P. Monti
30	26° 39'	65° 40'	Caliza	Peñas Azules
31	28° 58'	65° 24'	Mármol cálcico	Ojo de Agua
32	29° 19'	65° 25'	Mármol cálcico	El Cerrito (El Morro, Esquiú)
33	29° 33'	65° 29'	Mármol cálcico	La Esperanza o El Porvenir
34	30° 16'	68° 43'	Caliza	Sierra de San Roque
35	30° 18'	68° 43'	Caliza	El Refugio (Pan de Azúcar)
36	30° 21'	68° 37'	Dolomía	El Fuerte
37	30° 24'	68° 37'	Caliza	Niquivil Viejo (Cerro La Silla)
38	30° 49'	64° 43'	Mármol cálcico	Canteras Quilpo
39	30° 49'	64° 37'	Mármol cálcico	Pampa de los Guanacos
40	31° 01'	64° 22'	Mármol cálcico	El Carapé, Candonga
41	30° 59'	64° 48'	Mármol cálcico	La Fronda
42	31° 04'	64° 49'	Mármol cálcico	Cantera Iguazú
43	31° 12'	64° 34'	Mármol cálcico	Canteras Iggam, La Argentina, Los Arroyos y otras
44	31° 19'	68° 32'	Caliza-dolomía	El Volcán
45	31° 22'	68° 34'	Dolomía	El Volcán, Villicum
46	31° 20'	64° 21'	Mármol cálcico	Dumesnil o Cantera Crespo
47	31° 28'	64° 25'	Mármol cálcico	Yocsina
48	31° 31'	64° 25'	Mármol cálcico	Malagueño
49	31° 36'	64° 25'	Mármol cálcico	Cantera Tobías
50	31° 37'	64° 28'	Mármol cálcico	Cerro Moro y otras
51	31° 55'	68° 40'	Caliza	Baños de la Salud, Campo Sarmiento
52	31° 58'	64° 24'	Mármol cálcico	Sin Nombre
53	32° 01'	68° 43'	Caliza	El Rincón
54	32° 33'	68° 49'	Caliza	Salagasta
55	32° 34'	66° 10'	Dolomía	Sierra de Socosora
56	32° 43'	68° 52'	Caliza	Cerro La Cal
57	32° 45'	68° 52'	Caliza	Cerro Blanco
58	32° 52'	66° 55'	Mármol cálcico	Cerro Impuro I y II
59	32° 55'	66° 55'	Mármol cálcico	Cerro Redondo

Número	Latitud	Longitud	Sustancia	Depósito
60	32° 55'	65° 08'	Dolomía	Cañada Grande
61	32° 57'	65° 07'	Dolomía	La Marmolina I y II
62	36° 57'	60° 03'	Dolomía	Cantera Sierras Bayas
63	37° 00'	60° 19'	Caliza	Loma Negra -La Providencia
64	38° 43'	69° 56'	Caliza	Vaca Muerta
65	40° 31'	66° 21'	Caliza-dolomía	Gisela
66	41° 10'	65° 57'	Mármol cálcico-magnesiano	Cantera Pailemán
67	32° 30'	60° 12'	Conchillas	Canteras La Argentina y Centenario
68	36° 57'	69° 36'	Cloruro de Potasio	Yacimiento Potasio Río Colorado
69	37° 11'	69° 39'	Cloruro de Potasio	El Portón
70	37° 13'	69° 23'	Cloruro de Potasio	Paso Bardas
71	37° 14'	69° 27'	Cloruro de Potasio	Filo Morado-Pampa Negra
72	37° 16'	69° 17'	Cloruro de Potasio	Sierra Negra
73	37° 27'	69° 50'	Cloruro de Potasio	Pampa de las Liebres
74	37° 30'	69° 24'	Cloruro de Potasio	Los Barriales
75	22° 12'	64° 45'	Roca fosfática	Ríos Condados y La Misión
76	22° 25'	64° 50'	Roca fosfática	Río Porongal
77	22° 50'	64° 50'	Roca fosfática	Ríos Alisar e Iruya
78	23° 45'	65° 07'	Roca fosfática	Ríos Margaritas-San Lucas, Negro y Ocloyas
79	24° 00'	65° 05'	Roca fosfática	Cargadero Chauque (río Capillas)
80	31° 00'	68° 45'	Roca fosfática	Quebrada de Talacasto
81	33° 00'	69° 00'	Roca fosfática	Cerro Cacheuta
82	38° 30'	70° 00'	Roca fosfática	Bajada del Agrio
83	41° 30'	65° 20'	Mena de Fe c/apatita	Yacimiento ferrífero Sierra Grande
84	22° 33'	66° 52'	Boratos	Boratera Vilama, Cerro Tinte
85	23° 04'	66° 27'	Boratos	Loma Blanca
86	23° 07'	66° 58'	Boratos	Lina Lari
87	23° 08'	66° 32'	Boratos	Turi Lari, Pujis, Celti
88	23° 16'	67° 01'	Boratos	Jama, San Felipe, San Francisco
89	23° 21'	65° 52'	Boratos	Grupos: Buenos Aires, Córdoba, Jujuy y Salta, otras
90	23° 31'	66° 42'	Boratos	Mario, Eduardo Daniel, Lisandro
91	23° 42'	66° 08'	Boratos	Niño Muerto, Walterio, San Francisco
92	23° 50'	66° 44'	Boratos	Porvenir, Alsina, Ataco, Moreno y otras
93	24° 10'	66° 58'	Boratos	La Nuestra, Carolina
94	24° 39'	66° 40'	Boratos	Sol de Mañana
95	24° 40'	66° 39'	Boratos	Esperanza
96	24° 43'	66° 40'	Boratos	Monte Verde
97	24° 50'	66° 41'	Boratos	San Mateo, San Marcos
98	24° 46'	66° 40'	Boratos	Monte Marrón
99	24° 55'	66° 43'	Boratos	Maggie
100	25° 10'	66° 48'	Boratos	Ratones I y II
101	25° 16'	66° 43'	Boratos	Entrerriana, Santo Domingo
102	25° 19'	67° 06'	Boratos	Alberto, Centenario, La Jujeha
103	25° 51'	67° 47'	Boratos	Salar de Antofalla
104	24° 07'	66° 19'	Perlita	El Pato, La Pava, Anta, Ciervo, Guanaco, El Suri
105	24° 19'	66° 52'	Perlita	Mariana
106	24° 24'	66° 48'	Perlita	Anfititre, Criollita, Victoria, Taurus, Quirón
107	24° 28'	66° 25'	Perlita	Tina, Justa
108	24° 28'	67° 53'	Perlita	Los Volcanes, Lurgo I - II - III
109	25° 30'	67° 43'	Perlita	Antofalla
110	30° 13'	67° 12'	Ceolitas	Agua Blanca, El Médano
111	30° 31'	67° 37'	Vermiculita	Loma Blanca (Grupo Sol de Mayo)
112	31° 01'	64° 25'	Vermiculita	La Saltona
113	31° 07'	64° 25'	Vermiculita	Evelina

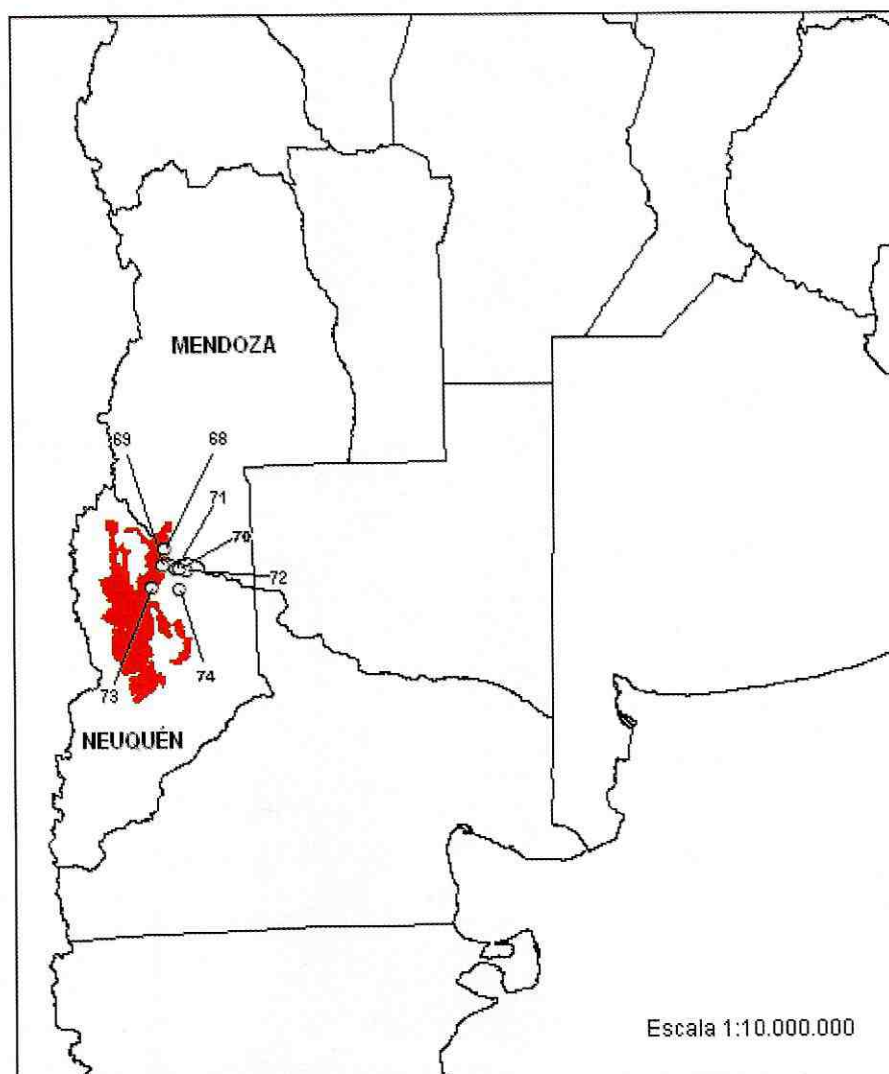
RECURSOS DE YESO PARA LAS NECESIDADES DE AZUFRE



RECURSOS DE CALIZAS Y DOLOMIAS PARA LAS NECESIDADES DE Ca y Mg



RECURSOS DE SILVITA (CIK) PARA LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES



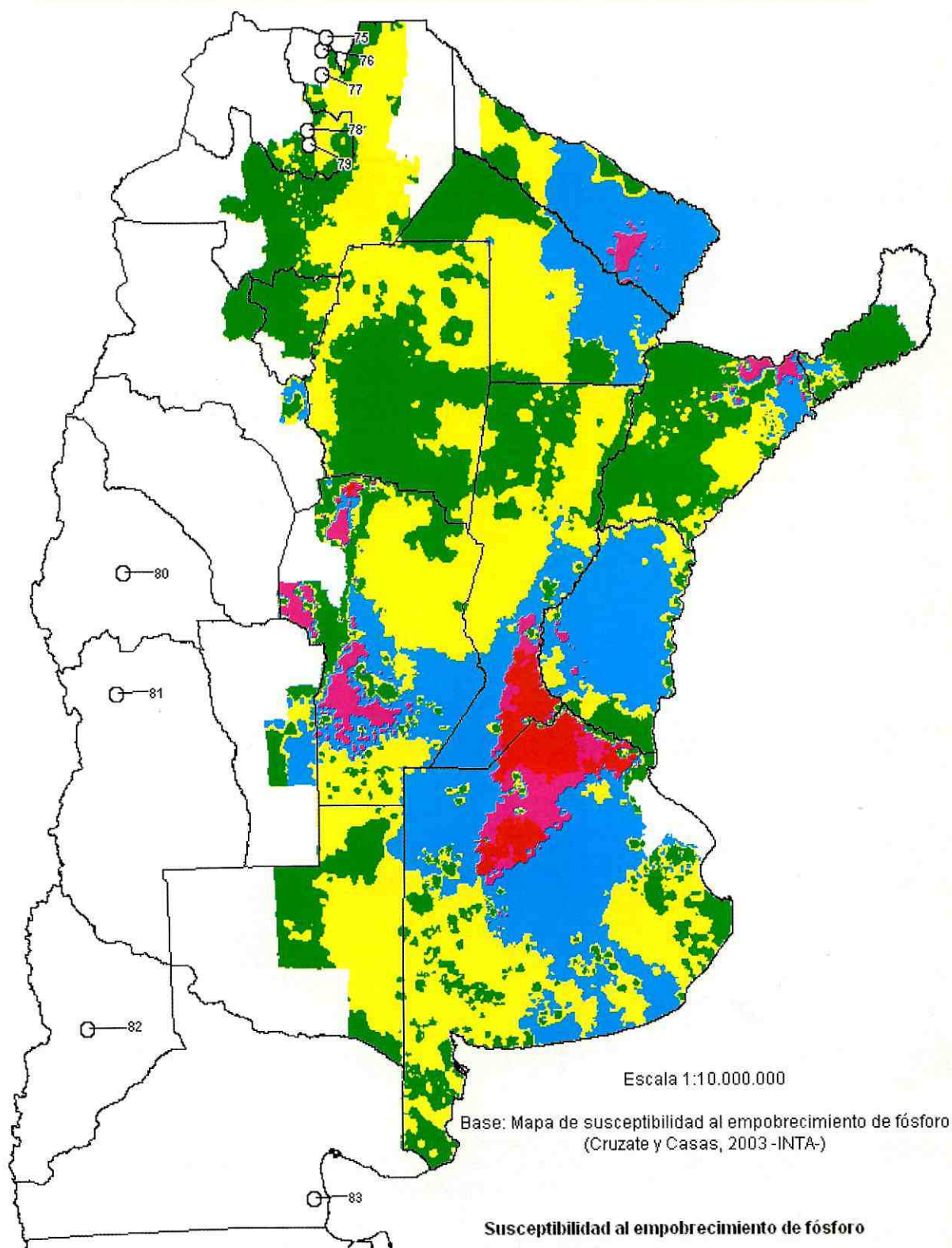
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
Y RECURSOS MINERALES
SEGEMAR

Faja Litogenética

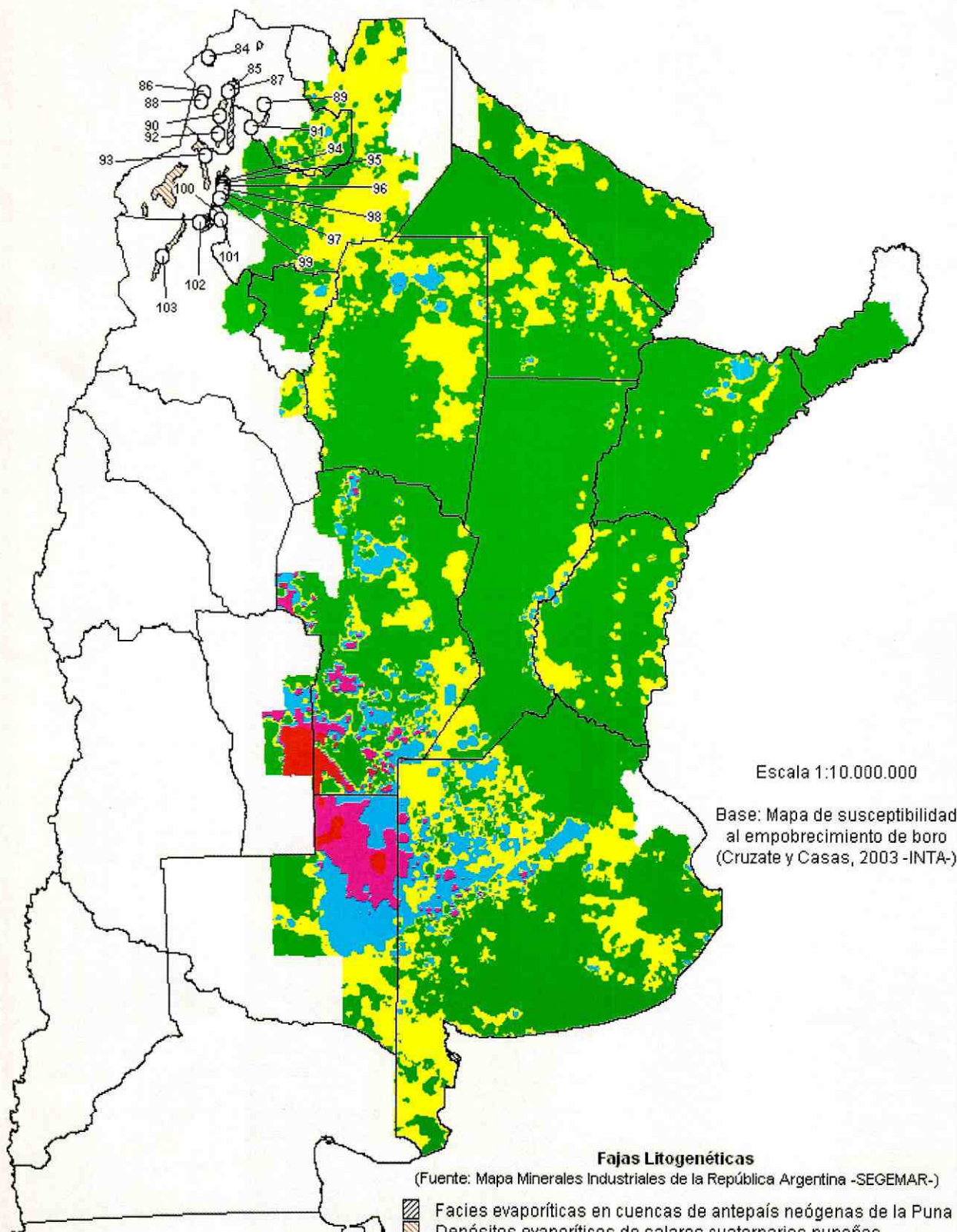
(Fuente: Mapa Minerales Industriales de la República Argentina -SEGEMAR-)

■ Depósitos marinos jurásico-cretácicos

RECURSOS DE FOSFATOS PARA LAS NECESIDADES DE FÓSFORO

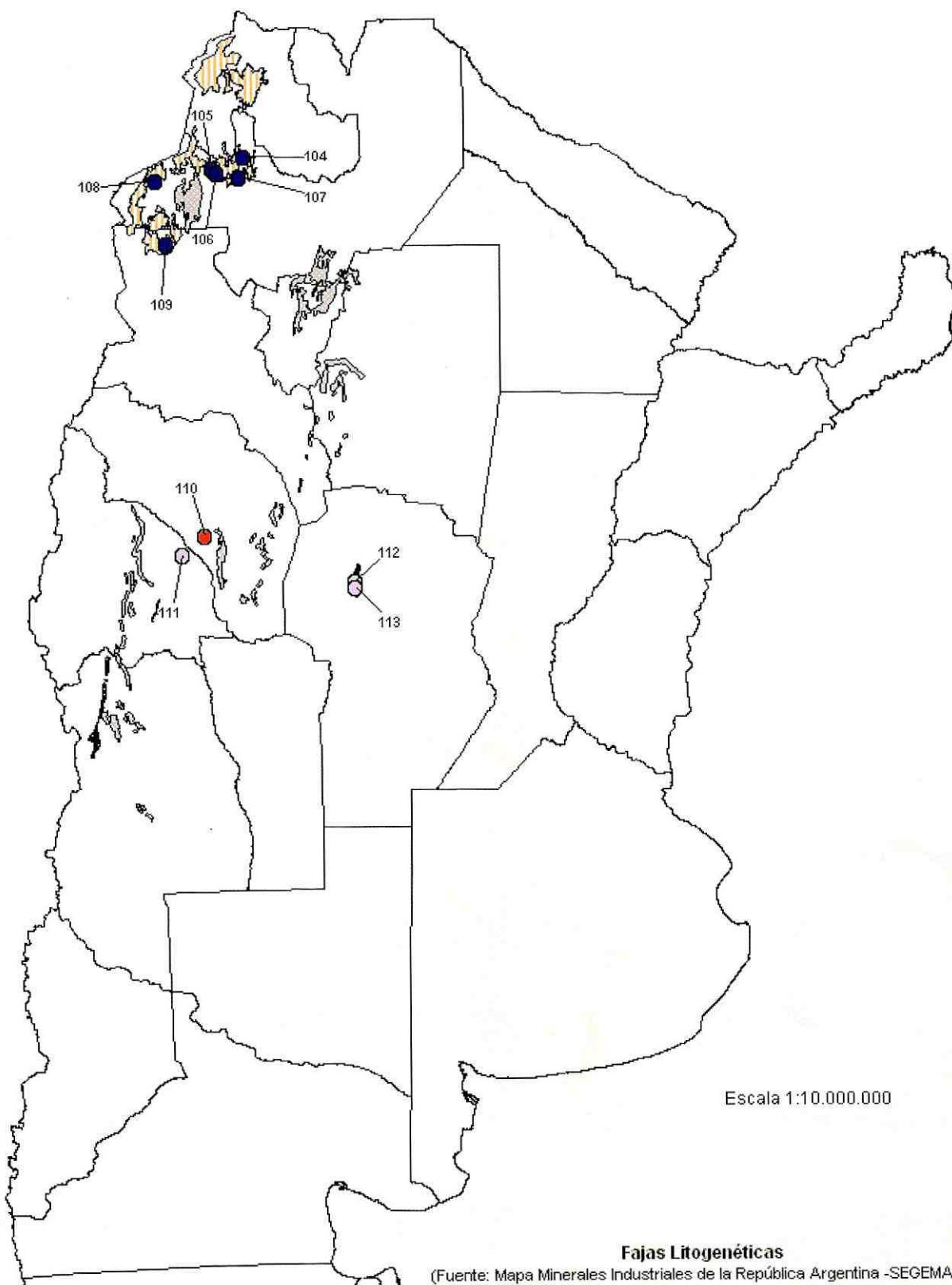


RECURSOS DE BORATOS PARA LAS NECESIDADES DE BORO



INSTITUTO DE GEOLOGÍA
Y RECURSOS MINERALES
SEGEMAR

RECURSOS DE PERLITA, CEOLITAS Y VERMICULITA PARA SUSTRATOS Y ENMIENDAS



INSTITUTO DE GEOLOGÍA
Y RECURSOS MINERALES
SEGEMAR

Se terminó de imprimir en
Talleres Gráficos D.E.L. S.R.L..
Humboldt 1803, Tel.: 4777-9177
Buenos Aires, Argentina,
en el mes de Mayo de 2005.

